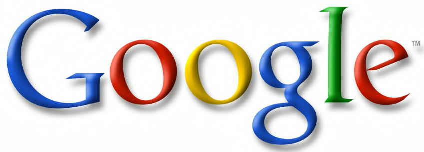
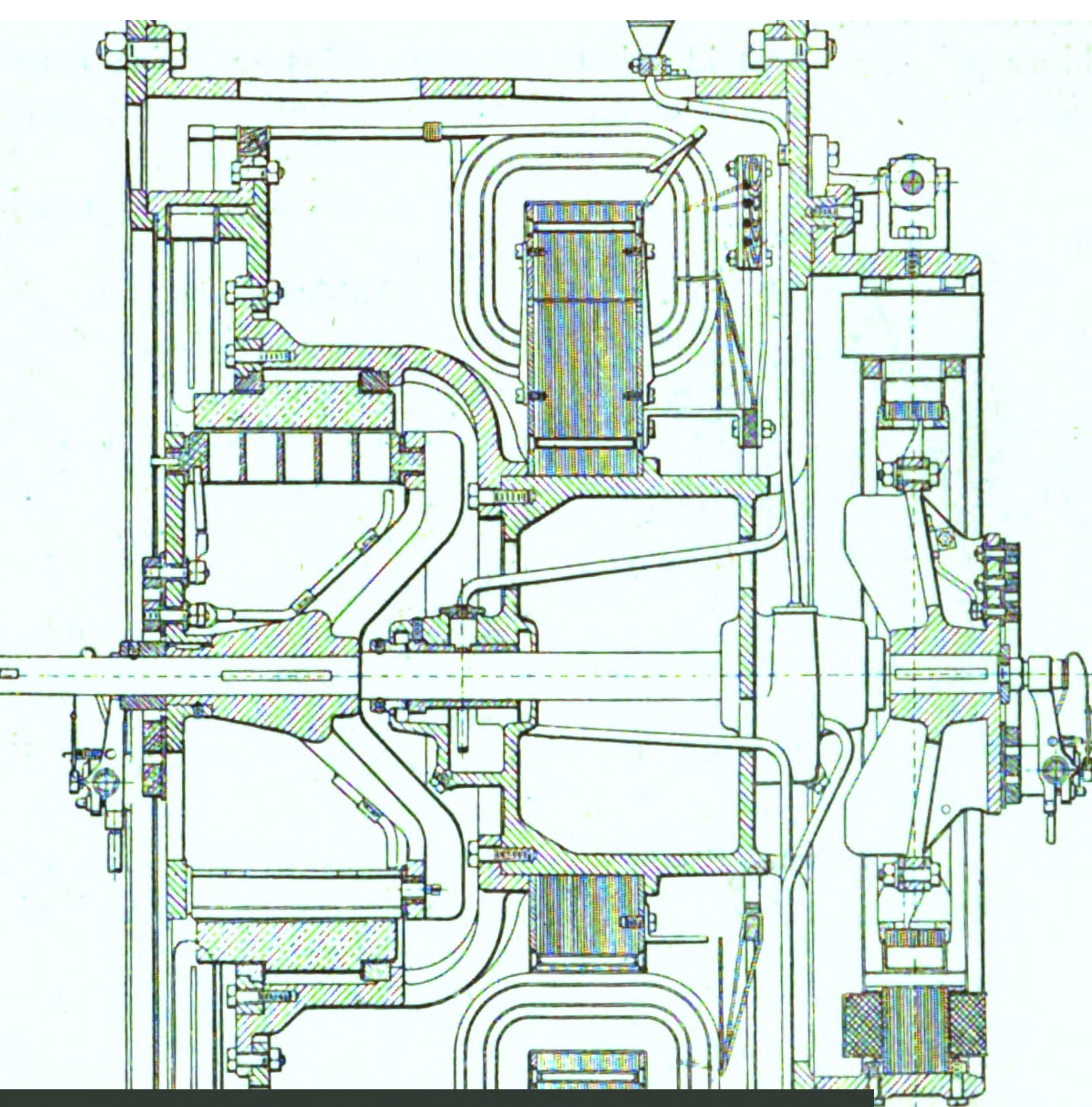




La Lumière électrique

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

TOME XXX

1er TRIMESTRE 1902

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXX | Samedi 4 Janvier 1902. | 9e Année. — N° 1.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RENDEMENT COMPARÉ
DES MACHINES A VAPEUR ET DES MOTEURS A GAZ

Quand nous écrivions, en 1886, que « dans un avenir prochain, la cornue à gaz aurait supplanté dans bien des industries les bouilleurs des générateurs à vapeur [1] », nous semblions émettre une opinion paradoxale ; le moteur à gaz était alors un bien petit facteur de l'industrie et, si l'étude de son cycle autorisait de grandes espérances, sa réalisation pratique laissait encore beaucoup à désirer ; on l'alimentait du reste avec un gaz coûteux, qu'on payait 25 centimes le mètre cube, ce qui mettait les 1 000 calories à un prix voisin de cinq centimes. Or, les 8 000 calories du kilogramme de charbon brûlé dans le foyer des générateurs ne revenaient qu'à deux centimes, soit les mille calories au quart de centime. Dans ces conditions, la machine à vapeur paraissait n'avoir aucune concurrence à redouter de la part de son jeune rival.

Il n'a pas fallu vingt ans pour diminuer considérablement les distances. Tandis que le chef-d'œuvre de Watt gagnait peu de terrain, le moteur à gaz faisait des pas de conquérant ; grâce à l'amélioration de son cycle, caractérisée par une compression plus forte, une détente plus longue et une vitesse de régime plus grande, par une meilleure diffusion du combustible dans le comburant, par un allumage plus sûr et mieux réglé du mélange tonnant et une combustion parfaite, grâce encore au perfectionnement de la construction, le rendement thermique et organique croissait rapidement et la consommation de gaz par cheval-heure diminuait de moitié. On abordait graduellement les puissances de 50, 100,

---

(1) *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz*, 1re édition, p. 283 ; Bernard et Cie, Paris, 1886.

500, voire même de 1 000 chevaux et plus. D'autre part, les gazogènes donnaient des gaz pauvres à 1 300 calories, pour la fabrication desquels il fallait employer d'abord des anthracites anglais de choix, mais qu'on obtenait ensuite avec n'importe quelle houille sèche non agglutinante ; le prix de ces gaz ressortait à moins de deux centimes, tous frais quelconques, intérêt du capital et amortissement du matériel y compris, ce qui établissait le prix des 1 000 calories à un centime et demi. Bientôt les appareils Mond permettaient d'utiliser du charbon bitumineux menu, à bas prix, et de récupérer des sous-produits ammoniacaux représentant une valeur de 8 à 10 fr par tonne [1]. Enfin, le moteur à gaz s'installait dans l'industrie métallurgique, au pied des hauts fourneaux, à côté des fours à coke, et il utilisait directement des gaz très pauvres, qu'on avait longtemps laissés perdre dans l'atmosphère ou qu'on brûlait mal dans des appareils de chauffage défectueux. A Differdange, dans le Grand-Duché de Luxembourg, les moteurs à gaz Cockerill développent ainsi plus de 7 000 chevaux et l'on estime que leur emploi procure une économie d'au moins 6 fr par tonne de fonte.

Ce tableau, tracé à larges traits, dépeint la situation présente de la construction des moteurs à gaz : il faut reconnaître qu'une partie du pronostic de 1886 est déjà réalisée et que le gazogène est en voie de supplanter la chaudière dans plusieurs industries, notamment dans les moulins, les usines hydrauliques et les stations centrales de tramways [2]. M. Humphrey a cité le cas de la Northwich Electric Supply C°, qui a préféré faire une installation Mond que d'utiliser des chutes d'eau dont elle pouvait disposer [3] ; le même ingénieur a présenté à ses collègues de l'Institut des ingénieurs mécaniciens de Londres, les plans d'une usine pouvant développer une puissance de dix mille chevaux. Enthousiasmé par ce brillant exposé d'une situation que peu d'industriels connaissent, M. Bramwell a prédit que, dans cinquante ans, la machine à vapeur ne se verrait plus que dans les musées : c'est une prédiction risquée assurément, mais elle a frappé certains esprits, et un grand constructeur belge, réputé pour l'excellence de ses machines à vapeur, cherchait il y a quelques jours par la voie de la presse des terrains pour créer un nouvel atelier de construction de gazogènes et de moteurs à gaz. Ces faits sont significatifs.

Les moins enthousiastes reconnaîtront dès lors qu'il se fait une évolution dans la mécanique des machines à feu.

Il nous a donc paru utile de chercher à spécifier d'une manière indiscutable la perfection relative des appareils à vapeur et à gaz, au moment actuel, en déterminant leur rendement thermique, c'est-à-dire le rapport entre le calorique transformé en travail et le calorique disponible. C'est le terme de comparaison le plus rationnel et le plus sûr, celui que les théoriciens acceptent aussi bien que les praticiens, quand il est basé sur des expériences bien faites et sur des chiffres incontestables. Or, les grands essais officiels sont effectués dans les meilleures conditions qu'on puisse désirer et leurs résultats, correspondant à un maximum, ont par suite une portée considérable ; les conclusions qu'on en déduit perdent, il est vrai, un peu de leur autorité, par le fait même que les appareils essayés sont des meilleurs, que les épreuves ont été préparées avec un soin extrême, que les conducteurs étaient des artistes du genre, que leur travail était surveillé de près, en un mot que l'ensemble de cet examen présente quelque chose d'artificiel. Mais cette critique s'adresse à tous les essais, en vapeur aussi bien qu'en gaz, et elle n'infirme donc en rien le travail de compa-

(1) *Power gas and large gas Engines for central stations*, par M. Humphrey; publié dans le bulletin des *Mechanical Engineers* de Londres, janvier 1901, p. 95.

(2) Cf : *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole*, t. III, ch. x, p. 312.

(3) *Loc. cit.*, p. 69.

raison que nous entreprenons; s'il fallait d'ailleurs s'y arrêter, on ne ferait plus d'essais, et ce serait regrettable, car ces déterminations précises constituent le criterium le plus sûr des théories et des règles de l'art.

Toutefois, il convient d'adjoindre à la comparaison des résultats d'essais celle qui repose sur une marche industrielle suffisamment longue et rigoureusement conforme à la pratique quotidienne des ateliers. En cette matière, les chiffres sont plus discutables et les conclusions moins précises; il faut donc les formuler avec prudence et n'en déduire que des indications générales. Les facteurs d'un ordre absolument pratique qui y interviennent pourraient fausser en certains cas les résultats scientifiques de l'observation et des considérations commerciales se mêleraient à une appréciation raisonnée qui doit en rester indépendante.

Nous déterminerons d'abord les rendements des appareils à vapeur, en considérant tour à tour la chaudière qui produit la vapeur et le moteur qui l'utilise; puis nous calculerons le rendement total du groupe, chaudière et machine, afin de pouvoir le rapprocher ensuite du rendement total du groupe gazogène et moteur, établi dans les mêmes conditions.

I. — Appareils a vapeur

1° *Chaudières.* — Rapportons d'abord les résultats fournis par un certain nombre d'essais, qu'on pourrait appeler classiques, effectués sur divers générateurs dans les conditions les plus variées (1).

Nous ne citerons que des expériences accompagnées d'une détermination exacte du pouvoir calorique du charbon employé, ce qui limite notre choix; nous regrettons que la plupart des expérimentateurs s'abstiennent de déterminer le titre de la vapeur produite et se contentent d'une appréciation vague de son degré relatif de siccité.

A l'Exposition d'électricité de Francfort-sur-le-Mein, de 1891, une commission composée d'ingénieurs allemands, des plus autorisés par leur savoir et leur compétence technique, a exécuté, sous la présidence de M. Schröter, une série d'essais sur plusieurs types de chaudières; les résultats en ont été signalés par M. Schmidt à la Société industrielle d'Amiens (2). Un de ces essais a conduit à un rendement élevé et nous croyons utile d'en reproduire ici les données: il s'agit d'une chaudière à foyer intérieur ondulé et excentré dans le corps cylindrique, pourvue d'un appareil fumivore spécial du système Rinne.

Date de l'essai	septembre 1891
Durée	20 heures
Chaudière :	
Type de chaudière	à foyer intérieur
Surface de chauffe S	60 m²
Surface de grille G	1,44 —
Rapport $\frac{S}{G}$	41,7
Tirage à la cheminée	6,70 mm d'eau

(1) Nous ne nous permettrons aucune comparaison entre appareils du même genre et ne voulons inférer en aucune manière que les meilleurs essais cités par nous dans ce travail, indiquent les meilleurs constructeurs ou les machines les plus parfaites.

(2) *Bulletin de la Société industrielle d'Amiens*, mars 1895.

Charbon :	
Origine	Noisettes lavées de la Ruhr
Eau hygrométrique et cendres	6,34 p. 100
Pouvoir calorifique du charbon brut (1)	7 923 cal.
Combustion :	
Volume d'air de combustion	1,47 volume théorique
Anhydride carbonique produit	15,53 p. 100
Charbon brûlé par m² de grille-heure	78,32 kg
— — de chauffe-heure	1,88 —
Température de la fumée au registre	288°
Vaporisation :	
Pression de la vapeur	12,39 kg
Température de l'eau d'alimentation	19°66
Eau vaporisée par m² de chauffe-heure	17,42 kg
Vapeur engendrée par kg de houille brute	9,276 —
Calories utilisées par kg de houille brute	5983 —
Bilan :	
Rendement thermique	75,5 p. 100
Pertes par les gaz	16,0 —
— par les cendres	2,70 —
— par rayonnement, etc.	5,80 —

Cet essai est aussi remarquable par la méthode magistrale avec laquelle il a été organisé et conduit que par les excellents résultats qu'il a fournis ; ce rendement de 75 p. 100 est bien près du maximum.

La Société Alsacienne de constructions mécaniques a installé à l'usine de Saint-Giniez de la Compagnie générale des tramways de Marseille une batterie de 20 chaudières ayant chacune 200 mètres carrés de surface de chauffe, dont l'essai de réception a été fait contradictoirement par les ingénieurs de la Compagnie et des fournisseurs.

Date de l'essai	Mai 1901
Durée	8 heures
Chaudière :	
Type	semi-tubulaire à bouilleurs avec réchauffeurs Green
Surface totale de chauffe S	200 m²
Surface de grille G	4 —
Rapport $\frac{S}{G}$	50 —
Surface de chauffe du Green	200 —
Charbon :	
Pouvoir calorifique du charbon brut (grain lavé d'Anzin)	8 000 calories
Humidité	1,45 p. 100
Mâchefers et cendres	13,2 —
Charbon brûlé par m² de grille-heure	62,7 kg
Vaporisation :	
Pression de la vapeur	8 kg
Eau vaporisée par m² de chauffe-heure	11,01 —
Vapeur engendrée par kg de houille brute	8,78 —
Calories utilisées par kg de houille brute	5 792
Bilan :	
Rendement thermique	72,4 p. 100

(1) Ce pouvoir calculé par la formule allemande est de 7 508 calories, vapeur d'eau non condensée ; M. Schmidt estime qu'à la bombe Mahler, on aurait obtenu environ 7923 calories ; c'est le chiffre que je prends pour base des calculs ci-dessous.

Voici un autre essai effectué par M. Schmidt sur une chaudière semi-tubulaire à foyer extérieur réalisant d'excellentes conditions théoriques :

Date de l'essai	5 février 1896
Durée	10h 47m
Chaudière :	
Type de chaudière	semi-tubulaire à deux parcours de fumée
Surface de chauffe S	190,39 m²
Surface de grille G	2,60 —
Rapport $\frac{S}{G}$	73
Diamètre des tubes	90 mm
Longueur des tubes	5,2 m = 57,8 diamètres
Hauteur de la cheminée	36 m
Section de la cheminée	1,77 m²
Tirage à la cheminée	18,6 mm d'eau
Charbon :	
Origine	Nœux
Eau hygrométrique	2,075 p. 100
Cendres	8,917 —
Pouvoir calorifique du charbon brut	7 741 calories
Combustion :	
Volume d'air de combustion	1,6 volume théorique
Anhydride carbonique produit	11,8 p. 100
Cendres et mâchefers produits	12 —
Charbon brûlé par m² de grille-heure	104 kg
— par m² de chauffe-heure	1,42
— par dm² de cheminée-heure	1,53
Température de la fumée au registre	218°,6
Vaporisation :	
Pression de la vapeur	4,42 kg
Température de l'eau d'alimentation	77°,6
Eau vaporisée par m² de surface de chauffe-heure	13,4 kg
— — de plan d'eau-heure	286 —
— par m³ de chambre de vapeur-heure	645 —
Vapeur engendrée par kg de charbon brut	9,47 kg
— l'eau étant prise à 0°	8,38 —
Calories utilisées par kg de houille brute	5 477
Rendement thermique,	70,8 p. 100

Si nous rapportons la vaporisation à 6 kg de pression effective (la vapeur ayant une température de 164°, le kilog de vapeur sèche correspondant donc à 656,5 calories), nous trouvons une production de 8,19 kg par kg de charbon brut et de 9,20 kg par kg de charbon net.

M. Schmidt considère cet essai comme un des meilleurs qu'il ait faits, au point de vue de la combustion, et il estime que, si le rendement n'a pas été supérieur, cela tient à ce que ce générateur était isolé et qu'il subissait une perte importante par rayonnement extérieur.

Le bilan calorifique de l'essai indique en effet une perte d'environ 14,5 p. 100 par les gaz et la vapeur d'eau de la fumée, ce qui porterait à évaluer à 14,7 p. 100 la perte due aux autres causes, parmi lesquelles le rayonnement extérieur est assurément la principale. Admettons que ce déchet ait été réduit à 8 p. 100, et c'était possible ; le rendement thermique total se serait trouvé porté à 77,5 p. 100 au maximum.

Nous saisissons l'occasion de cette étude si intéressante de M. Schmidt pour faire ressortir l'utilité des bilans calorifiques de la combustion que l'on devrait dresser pour chaque essai scientifique de chaudières : c'est le seul moyen d'analyser les phénomènes

***

qui se passent dans le foyer et de se rendre compte des pertes subies ; c'est aussi le meilleur contrôle des résultats obtenus, attendu que ce bilan fournit des éléments de vérification des données relevées au cours de l'expérience et des rendements calculés sur cette base.

Une chaudière multitubulaire Niclausse, essayée par MM. Kennedy, Unwin et Capper, en avril 1894, à Thames-Ditton (Angleterre) a fourni à ces habiles expérimentateurs les résultats qui suivent :

Chaudière :		
Date de l'essai		11 avril 1894
Durée		7 h. 40 m
Type de chaudière		Multitubulaire
Surface de chauffe S		60,29 m²
— de grille G		1,74 —
Rapport $\frac{S}{G}$		34,7 —
Diamètre des tubes		82 mm
Longueur		2,15 m
Tirage à la cheminée		5 mm d'eau
Charbon :		
Origine		Powel Duffrin
Eau hygrométrique		0,80 p. 100
Cendres		6,74 —
Pouvoir calorifique du charbon brut		7 698 calories
Combustion :		
Volume d'air de combustion		17 m³ par kg
Analyse de la fumée	CO^2	8,96 p. 10
	CO	0 —
	O	19,43 —
	Az	80,61 —
Charbon brûlé par m² de grille-heure		64,9 kg
— — de chauffe-heure		1,87 —
Température de la fumée au registre		261°
Vaporisation :		
Pression de la vapeur		11,235 kg
Entraînement d'eau		0,15 p. 100
Température de l'eau d'alimentation		16°
Eau vaporisée par m² de surface de chauffe-heure		16,61 kg
Vapeur engendrée par kg de charbon brut		8,69 —
— l'eau étant à 0°		8,47 —
Calories utilisées par kg de charbon brut		5 629 calories.
Bilan de la chaudière	Rendement thermique	73,11 p. 100
	Perte par les gaz	17,56 —
	— par les cendres	0,98 —
	— par combustion imparfaite	1,33 —
	— par rayonnement, etc.	7,02 —

En vapeur à 6 kg, la production eût été de 8,57 kg par kilogramme de charbon brut et de 9,26 kg par kilogramme de charbon net.

Il ressort des essais précédents, effectués par des maîtres, sur des appareils excellents et installés dans les meilleures conditions, que l'on considère comme remarquables des rendements de 70,8 à 75,5 p. 100. Et de fait, il semble bien difficile de les dépasser. Se basant sur sa grande expérience, M. Bellens a déclaré que les pertes par combustion incomplète, par excès d'air, par tirage, par rayonnement extérieur et conductibilité des massifs ne peuvent guère être moindres que 27,3 p. 100 ; le rendement maximum pratique serait donc voisin de 72,7 p. 100, ce qui concorde avec nos conclusions et les justifie.

Bien rares sont les générateurs qui donnent ce rendement, ainsi qu'en témoigne le rapport publié par M. Zwiauer, directeur de l'Association autrichienne des propriétaires d'appareils à vapeur, sur les épreuves auxquelles ont été soumises 61 chaudières de son ressort durant l'exercice 1898. Il a réuni en un tableau les chiffres relevés par ses ingénieurs et j'y constate ce qui suit :

Une chaudière multitubulaire a vaporisé 7,83 kg d'eau par kilogramme de charbon, à 6 kg de pression, avec un rendement élevé de 78,85 p. 100, qui pourrait bien être attribué à un entraînement d'eau et serait par suite expliqué par une illusion ; la meilleure semi-tubulaire a fourni 7,90 kg de vapeur, rendant ainsi 74,89 p. 100 ; la meilleure chaudière à bouilleurs a donné 7,45 kg de vapeur, ce qui correspondait à 63,7 p. 100 de rendement. Les autres générateurs ont été inférieurs à ces appareils, et le rendement de l'un d'eux est même tombé à 46,43 p. 100.

La mauvaise qualité du charbon peut contribuer aussi à diminuer le rendement des meilleurs générateurs et nous en trouvons la preuve dans une expérience faite sur une excellente chaudière semi-tubulaire à bouilleurs de MM. Meunier et Cie. On brûlait sur la grille des schlammes de houille de Miroschau renfermant 28 p. 100 d'eau hygrométrique et 25 p. 100 de cendres, dont le pouvoir calorifique ne dépassait pas 3 000 calories. La grille était du système Kudlicz ; elle était alimentée d'air soufflé sous une pression de 20,5 kg d'eau. Or, on produisit 3,53 kg de vapeur à 5,15 kg de pression par kilogramme de schlammes ; le rendement atteignit donc 68,5 p. 100, ce qui est tout à l'honneur de la chaudière de M. Meunier, mais démontre bien que pour faire de beaux essais il ne faut pas de trop laids charbons.

Il importe enfin d'avoir d'habiles et infatigables chauffeurs ; ils apportent en effet leur coefficient personnel dans le rendement de l'appareil et ils contribuent au succès pour une large part. Incapables ou négligents, ils peuvent augmenter la dépense de charbon de 10 ou 15 p. 100 : les concours institués par certaines sociétés, (concours auxquels ne participent que des sujets d'élite) font constater même entre eux des différences notables. Ainsi aux concours organisés par l'association du Nord, le chauffeur primé produisait, en 1896, 8,459 kg de vapeur alors que le résultat moyen des candidats était de 7,709 kg ; l'écart est de près de 10 p. 100,

En marche industrielle, le rendement est du reste très inférieur à celui que donne une marche d'essais, pour beaucoup de raisons autres que celles que nous venons d'énumérer. Quand on détermine le rendement d'un générateur d'après la quantité de charbon, brûlé en un mois et le poids d'eau vaporisée, durant la même période, on est bien loin de trouver un rendement moyen comparable à ceux que nous avons relatés plus haut ; et bien des industriels s'estimeraient heureux de retrouver dans la vapeur engendrée les 60 centièmes des calories produites par la combustion du charbon brûlé sur la grille de leurs générateurs.

En effet, les pertes par la cheminée sont au moins égales à 26 p. 100 en marche courante, parce que le volume de l'air admis dans le foyer est toujours supérieur au double du volume théorique, ainsi que le prouve la proportion de 7 p. 100 d'anhydride carbonique et d'oxygène qu'on trouve dans la fumée ; d'autre part les pertes par rayonnement tombent rarement au-dessous de 9 p. 100. Il reste donc 5 p. 100 pour les pertes par les cendres, les allumages, la couverture des feux, etc. Le rendement de 60 p. 100 est par conséquent un beau rendement industriel.

Nous concluerons donc en disant que, si certaines chaudières peuvent donner jusqu'à 77,5 p. 100 en essais, ce maximum n'est presque jamais atteint ; qu'un rendement de 70

est déjà très satisfaisant et qu'en réalité les industriels ne peuvent guère escompter qu'un rendement annuel moyen de 60 p. 100, avec les installations les mieux étudiées et les plus surveillées.

2° *Machines à vapeur.* — En 1893, le professeur Thurston, directeur du collège d'Ithaque (New-York) dont la haute compétence dépasse l'éloge que nous pourrions en faire, présenta comme un record de consommation les résultats relevés sur une machine Allis et C° installée à Milwaukee pour le service des eaux (1). Ce moteur à triple expansion puise et refoule à 48,17 m de hauteur, 81 782 m³ par 24 heures. Les essais ont fait constater les résultats suivants :

Pression de la vapeur	9,555 kg
Titre de la vapeur	0,9895
Consommation par cheval-heure indiqué	5,120 kg
En vapeur à 6 atmosphères absolues	5,159 —
Calories correspondantes au kg de vapeur	655,062 —
Rendement thermique indiqué	18,8 p. 100

M. Dwelshauvers-Dery a résumé en quelques mots son appréciation de cette machine : « Vapeur sèche, haute pression, grande détente, très basse pression au condenseur, répartition égale du travail entre les cylindres, accommodation habile du degré de détente, receivers bien conçus, bien enveloppés comme les cylindres, distribution excellente, lumières et conduits largement proportionnés, espaces morts exceptionnellement petits, telles sont les qualités caractéristiques qui, réunies dans la machine de Milwaukee ont réduit sa consommation à un point probablement non encore atteint jusqu'aujourd'hui ».

C'était donc bien un record de consommation : ce rendement thermique de 18,8 p. 100 doit par conséquent à bon droit être retenu comme voisin du maximum, et nous allons voir en effet que la surchauffe de la vapeur seule permet de le dépasser.

Voyons ce que donnent les meilleurs essais.

Procédons par ordre et partons des machines de faible puissance, pour lesquelles la consommation de vapeur, même rapportée au cheval-heure indiqué, est toujours un peu plus grande.

S'il fallait établir *a priori* une échelle croissante des consommations, nous nous arrêterions aux chiffres ci-dessous :

Puissance	Type	Pression de la vapeur	Consommation par cheval-heure indiqué
20 à 50 chevaux	Monocylindrique	6 kg	8 kg
50 à 100 —	»	»	8 à 7 —
100 à 200 —	»	»	7 —
200 à 500 —	compound	8 kg	7 à 6 —
500 à 1000 et au-dessus	compound ou triplex	9 —	6 à 5,5 kg

Nous supposons des machines à condensation alimentées de vapeur saturée et sèche ; ces chiffres sont discutables en valeur absolue, mais ils paraissent suivre la gradation qu'on observe dans la pratique.

Le premier essai que nous rapporterons sera celui de la machine installée par MM. Piguet et Cie de Lyon à la manutention militaire de cette ville, dont la réception a été faite par une commission spéciale avec le concours de M. Bour, ingénieur de l'Association Lyonnaise. Ces expériences sont extrêmement intéressantes, parce qu'elles ont comporté des essais au frein et une détermination du travail effectif.

(1) Nous empruntons ces chiffres à un savant travail de M. Dwelshauvers-Dery, *Revue générale des Sciences*, 15 juillet 1894.

Date de l'essai	14 août 1885
Durée	10 heures
Diamètre du cylindre	500 mm
Course du piston	1,000 mm
Diamètre de la tige du piston	96,5 mm
Surface arrière du piston	1963 cm²
— avant —	1930 —
Nombre de tours par minute	60,66
Pression de la vapeur au cylindre	6 kg
Perte de la chaudière au cylindre	0,25 —
Pression moyenne au diagramme { avant	1,782 —
Pression moyenne au diagramme { arrière	1,650 —
Puissance indiquée	90,04 chevaux
Vide au condenseur	65 centimètres
Bras de levier du frein de Prony	4,400 m
Charge nette du frein	221,6 kg
Puissance effective	82,58 chevaux
Rendement organique	0,917
Consommation par cheval-heure indiqué	6,800 kg
— — effectif	7,414 —
Calories par cheval-heure indiqué	4 465 cal.
— — effectif	4 868 —
Rendement thermique indiqué	0,142
— effectif	0,136

Le résultat est beau, pour une machine de 100 chevaux, à tiroir ordinaire ; la consommation est entendue toutes purges de la machine comprises. A noter que la vapeur n'était pas absolument sèche.

Une machine compound à déclic de 700 chevaux, alimentée de vapeur saturée sèche à 8 kg de pression, donne déjà des résultats plus économiques, quand elle est bien étudiée et bien construite ; telles paraissent les conditions de la machine Bollinckx, essayée à Verviers par les ingénieurs de l'Association belge, sous la présidence de M. Vinçotte.

Date de l'essai	3 mai 1900
Durée	10 h 40 m
Diamètre des cylindres { Petit cylindre	760 mm
Diamètre des cylindres { Grand cylindre	1150 —
Course commune	1,500 m
Nombre de tours par minute	59,57
Pression moyenne de la vapeur	7,98 kg
Vide moyen au condenseur	69,5 cm
Admission moyenne au petit cylindre	15,6 p. 100
Pression moyenne indiquée { PC	2,18 kg
Pression moyenne indiquée { GC	0,735 —
Travail développé { PC	385,64 chevaux
Travail développé { G C	304,23 —
Travail total =	689,87 chevaux
Consommation de vapeur par cheval-heure indiqué	5,36 kg
Calories au kg de vapeur saturée	659,59 cal.
Calories par cheval	35 36 —
Rendement thermique	0,1796

L'essai suivant que j'ai fait sur une machine Corliss compound de MM. Crépelle et Garand a fourni des résultats analogues.

Date de l'essai	23 juillet 1897
Durée	10 heures
Diamètre des cylindres { Petit cylindre	813 mm
Diamètre des cylindres { Grand cylindre	1422 —

Date de l'essai	23 juillet 1897.
Course commune des pistons	1,680 m
Pression de la vapeur au petit cylindre	7,14 kg
Titre de la vapeur	0,9445
Nombre de tours par minute	60,905
Pressions moyennes indiquées PC	1,907 kg
Pressions moyennes indiquées GC	0,496 —
Travail indiqué PC	434,996 chevaux
Travail indiqué GC	355,319 —
Travail total	790,315 chevaux
Consommation de vapeur par cheval-heure indiqué	5, 870 kg
Calories au kg de vapeur saturée	658,41
Calories par cheval	3 865
Rendement thermique	0,164

Il est à noter que les chiffres ci-dessus ont été relevés en marche industrielle avec toutes les variations de travail que comportait l'importante filature de coton que desservait ce moteur; la machine ne travaillait d'ailleurs pas à pleine charge, attendu que sa puissance était de 1 200 chevaux et qu'elle n'en développait que 790. Elle aurait donné un rendement meilleur au régime normal de son fonctionnement. Le titre de la vapeur laissait d'ailleurs à désirer.

Pour obtenir des rendements supérieurs aux précédents, il faut recourir à la surchauffe, qui améliore les conditions théoriques du cycle. On se rappelle cette belle petite machine Schmidt, de 60 chevaux, qui ne consommait que 4,55 kg de vapeur, à 12 kg de pression par cheval-heure indiqué et 5,50 kg par cheval-heure effectif, grâce à une surchauffe de 170 degrés : ce résultat avait été relevé par M. le professeur Schröter. Il correspondait à un rendement thermique indiqué de 0,187, extrêmement remarquable pour une machine d'aussi faible puissance. Mais cette surchauffe énorme met cette machine hors cadre.

Voici un essai signé de M. Walther Meunier; il a été exécuté sur une excellente machine alimentée de vapeur surchauffée légèrement.

Machine Dujardin à triple expansion d'une puissance nominale de 850 chevaux.

Diamètre des cylindres — Petit cylindre	490 mm
Diamètre des cylindres — Moyen	760 —
Diamètre des cylindres — Grand	1250 —
Course commune des pistons	1,350 m
Date de l'essai	8 janvier 1901
Durée	9 h 30 m
Pression de la vapeur aux chaudières	11,09 kg
Température de saturation correspondante	187°4
Température au surchauffeur	235°2
Surchauffe de la vapeur	47°8
Perte de charge entre chaudière et machine	0,33 kg
Pression moyenne aux diagrammes PC	4,648 —
Pression moyenne aux diagrammes MC	1,350 —
Pression moyenne aux diagrammes GC	0,520 —
Admission moyenne PC	38,0 p. 100
Admission moyenne MC	48,5 —
Admission moyenne GC	47,5 —
Contre-pression moyenne PC	2,64 kg
Contre-pression moyenne MC	0,18 —
Contre-pression moyenne GC	0,15 —
Indication du vide	68 cm
Nombre de tours moyen par minute	67,11
Travail indiqué PC	346,06 chevaux
Travail indiqué MC	241,32 —
Travail indiqué GC	254,38 —
Travail total	841,76 chevaux

Déduisant le poids de vapeur condensé dans la conduite d'amenée et celui perdu par quelques petites fuites, correspondant à 0,33 p. 100, sans aucune reprise, la consommation est ressortie à 5,030 kg par cheval-heure indiqué.

Calories au kg de vapeur	saturée	663,530
	chaleur de surchauffe	23,183
Calories totales		686,713
Calories par cheval-heure		3 454,166
Rendement thermique		0,184

En augmentant encore la pression et la durée de surchauffe, on peut améliorer légèrement ce rendement, ainsi qu'il ressort d'un essai, fait aussi par l'Association de Mulhouse (MM. Walther Meunier et Ludwig), sur une machine à triple expansion de M. Berger André. Nous donnons les chiffres les plus intéressants de ces belles expériences : la machine est d'une puissance nominale de 100 chevaux.

Diamètre des cylindres	PC	560 mm
	MC	800 —
	GC	1150 —
Course commune des pistons		1,370 m
Date de l'essai		8 et 9 mai 1896
Durée		11 h 31 m
Pression de la vapeur aux chaudières		11,40 kg
Température de saturation correspondante		188°5
Température au surchauffeur		288°
Surchauffe de la vapeur		99°50
Perte de charge entre chaudière et machine		0,44 kg
Nombre de tours moyen		70,42
Travail indiqué	PC	420,64 chevaux
	MC	105,01 —
	GC	282,42 —
Travail total		816,07 chevaux
Consommation de vapeur par cheval-heure indiqué		4,676 kg
Calories au kg de vapeur	saturée	663,97
	chaleur de surchauffe	48,26
Calories totales		712,22
Calories par cheval		3430
Rendement thermique		0,190

C'est le rendement le plus fort que je puisse signaler, car je n'en connais point de plus élevé : il dépasse celui de la machine Allis. Nous le tiendrons donc pour le rendement maximum réalisable avec une surchauffe modérée.

En marche industrielle, on ne dépasse que rarement un rendement de 0,170, et le rendement moyen annuel d'une machine d'atelier est certainement bien inférieur à ce chiffre.

3° *Groupe chaudière et machine.* — Les études qui précèdent nous permettent maintenant de calculer le rendement de l'ensemble constitué par une chaudière et une machine à vapeur placées l'une par rapport à l'autre dans les meilleures relations techniques.

Multipliant l'un par l'autre le rendement *maximum* des deux appareils, nous obtenons $0,775 \times 0,190 = 0,147$ pour le maximum du groupe.

Mais il y a un décompte à effectuer sur cette valeur par suite des pertes inévitables subies dans le transport de la vapeur de la chaudière au cylindre ; la vapeur saturée perd de sa pression et elle se condense ; la vapeur surchauffée perd de sa surchauffe. Zeuner estimait le déchet à 2 p. 100 ; admettons qu'il ne soit que de 0,7 p. 100 et arrondissons à 0,14 le chiffre auquel nous arrivions ci-dessus.

Voilà donc le rendement le plus élevé que l'on puisse espérer aujourd'hui pour une installation parfaite, conçue et réalisée dans des conditions excellentes, dans laquelle la meilleure des chaudières dessert le meilleur des moteurs : ces mariages sont rares. Il faut admettre encore que la surcharge soit obtenue gratuitement par l'utilisation des chaleurs perdues du foyer. Notons enfin que c'est un rendement thermique *indiqué*.

On le réalise quelquefois.

Dans les essais de consommation et de rendement exécutés par MM. Walther Meunier et Ludwig sur une batterie de chaudières semi-tubulaires, fournie par la Société Alsacienne, avec surchauffeur Schwœrer, et la machine à triple expansion de M. Berger-André, dont il a été fait mention plus haut, on a relevé une consommation de 565,3 gr de charbon par cheval-heure indiqué. C'était une braisette lavée de la Ruhr, dont le pouvoir n'est pas donné dans le rapport auquel nous empruntons ce chiffre ; mais on peut estimer ce pouvoir à 8 100 calories. Le rendement thermique indiqué ressortirait d'après cela à 0,138. Il est vrai que M. Walther Meunier a déclaré que c'était le plus beau résultat qu'il ait constaté dans son ressort, lequel comporte près de 4 800 générateurs et constitue un des plus remarquables groupements d'Europe.

Mais cette consommation de 565 gr de houille est très rare ; nous ne croyons pas qu'aucun constructeur consente jamais à la garantir par contrat. M. Bollinckx ne signale dans ses tableaux de dépense qu'une seule de ses installations ayant donné le cheval-heure indiqué par 560 gr ; c'est celle des tramways de Gand, dont la puissance est de 362 chevaux ; l'essai a été fait par l'Association de Bruxelles ; nous ignorons la qualité et le pouvoir du combustible employé. Généralement on considère comme très heureux des essais conduisant à une consommation inférieure à 750 gr : c'est alors un rendement de 0,105.

En marche industrielle, le taux baisse considérablement : les garanties accordées permettent d'apprécier ce qu'on croit réellement possible ; nous en prendrons pour exemple le groupe électrogène livré par la Société Alsacienne à la Compagnie générale des Omnibus de Paris, et installé à l'usine de l'Est. On avait garanti le kilowatt-heure par 1 400 gr de briquette d'Anzin, type torpilleur, de bonne qualité et de fabrication récente ; toutes les purges de vapeur et les condensations de tout genre devaient être portées au passif des moteurs. L'usine comprenait trois groupes de 400 kilowatts ; les générateurs, timbrés à 12 kg, étaient au nombre de huit ; ils étaient pourvus d'économiseurs Green. Les eaux de condensation étaient rafraîchies et reprises par deux pompes électriques. L'essai de réception en marche industrielle fut effectué en juin 1900 et il fit constater une consommation de charbon de 1 061 gr par kilowatt-heure. Le rendement depuis le piston moteur jusqu'au tableau étantde 0,784, le cheval-heure indiqué correspondait à 837 gr de briquette, soit à un rendement indiqué d'environ 0,09. Nous voilà loin de 0,14 : mais il s'agit d'une marche de service, et le résultat fut réputé comme fort satisfaisant ; il était très supérieur à la garantie donnée.

Quand on établit la consommation d'une station centrale par des relevés mensuels et annuels, on observe parfois des résultats désastreux dont nous n'oserons plus dire le rendement ; nous faisons allusion à une station parisienne où la consommation par kilowatt atteignit, en 1895, 3 974 gr de charbon. Nous n'en ferons pas un argument contre la vapeur, mais il est bien établi par ce qui précède que les rendements thermiques de 0,14, rapportés au travail *indiqué*, sont de très rares exceptions, et qu'en pratique industrielle on se contente de 0,09, mais qu'on n'y arrive pas toujours.

Nous allons déterminer par les mêmes procédés le rendement d'une installation de gazogènes et moteurs à gaz et nous comparerons.

(*A suivre.*) Aimé WITZ.

EMPLOI DES APPAREILS ÉLECTRIQUES ENREGISTREURS

SUR LES VÉHICULES DE TRAMWAYS ET DE CHEMINS DE FER

Chacun sait les grands services qu'ont rendus les appareils électriques enregistreurs dans les installations fixes. Il n'existe plus guère actuellement de station importante qui ne possède un voltmètre enregistreur permettant de constater les effets de la régulation automatique ou à main et de tenir l'électricien du tableau en haleine. L'emploi des ampèremètres ou wattmètres enregistreurs tend également à se généraliser dans toutes les usines de distribution de courant électrique ; grâce à ces appareils les secteurs peuvent, d'une part étudier la variation de la demande aux diverses heures de la journée et aux diverses époques de l'année, et d'autre part réaliser, grâce à un contrôle constant de la production de l'usine, une bonne utilisation du combustible. En dehors de ces applications où les appareils enregistreurs fonctionnent en permanence d'un bout de l'année à l'année, il y a une foule de cas où l'on a recours à ces engins pour faire des essais isolés ou des relevés intermittents : par exemple les ampèremètres enregistreurs sont employés pour l'évaluation du courant absorbé par des machines-outils, dans les ateliers commandés par l'électricité, et les voltmètres enregistreurs pour faciliter l'observation des charges et décharges d'accumulateurs.

Ce sont les appareils bien connus de la maison Richard qui ont été surtout employés en France pour ce genre d'applications; depuis quelques années on emploie également les appareils Meylan et Arnoux, qui ont été décrits récemment dans le journal.

L'emploi des appareils électriques enregistreurs sur les véhicules mobiles est au contraire presque inconnu. Lorsque je songeai à faire usage d'appareils de ce genre sur les voitures de chemin de fer, je ne croyais pas qu'il y avait eu d'autres essais sur les tramways que ceux effectués dans les premières années de l'exploitation des lignes à accumulateurs de Saint-Denis. J'appris, peu de temps après, que des essais avaient été effectués sur les lignes à accumulateurs installées depuis deux ans, mais ce n'est qu'en poursuivant mes recherches que j'eus connaissance des expériences nombreuses exécutées dans l'intervalle. Je formai alors le projet de faire, pour les lecteurs de ce journal, un historique de toutes les applications des appareils enregistreurs réalisées sur les tramways et chemins de fer, avec relevé des particularités de montage et de résultats relatifs à chaque cas. Mes efforts ne furent pas couronnés de succès ; je recueillis des renseignements contradictoires : les ingénieurs auxquels je m'adressai ne purent, à quelques exceptions près, me fournir des indications précises, la plupart n'ayant gardé qu'un vague souvenir des petits détails d'expériences et n'ayant pas conservé les relevés obtenus. On m'excusera donc de ne pouvoir présenter ici qu'une série bien peu homogène de notes plus ou moins complètes, mais d'où se dégage pourtant une conclusion bien nette et certainement ignorée : des relevés ont été effectués avec des appareils enregistreurs, ampèremètres, wattmètres, et quelquefois voltmètres, sur *tous* les tramways à accumulateurs sans exception et même, ce qui est plus inattendu, sur *presque toutes* les lignes à trôlet, même les plus anciennes, installées jusqu'à présent en France. Sur le matériel de chemins de fer les applications des appareils enregistreurs sont encore très restreintes, et elles ne datent que de ces toutes dernières années.

Nous parlerons d'abord des applications réalisées sur les tramways, en les classant suivant le type d'appareil employé. En premier lieu viennent les enregistreurs Richard.

La première application des appareils enregistreurs sur des tramways (je ne parle bien entendu que de la France) a été réalisée en 1891, par M. Vuilleumier, sur la ligne de Clermont-Ferrand, à Royat. Ces tramways électriques, les premiers qui aient circulé en France, avaient été établis sans qu'on ait des données précises sur le rendement brut des moteurs et sur les valeurs de l'effort de traction à diverses vitesses et sur divers profils. Dans le but de recueillir ces données, pour l'étude ultérieure d'autres lignes, M. Vuilleumier entreprit une série d'expériences,

consistant à placer sur une voiture un ampèremètre inscrivant le courant consommé à chaque instant en marche. Il croit se rappeler avoir employé un ampèremètre enregistreur Richard à poids du type stationnaire, mais à déroulement assez rapide, posé simplement sur la banquette avec interposition de pièces de caoutchouc creuses, mais il ne se souvient pas qu'il y ait eu sur l'équipage mobile un piston amortisseur plongeant dans un liquide, quoique la maison Richard affirme avoir déjà créé ce type, à l'époque, pour des essais d'électromoteurs fixes. N'ayant pas retrouvé de courbes, il ne peut se prononcer sur la netteté de trait obtenu; la courbe était lisible; elle était d'ailleurs contrôlée par des mesures fréquentes faites à l'aide d'un ampèremètre ordinaire apériodique bien étalonné.

Vers la fin de 1892, ou le commencement de 1893, la Société pour le travail électrique des métaux entreprit une série d'essais, poursuivis ensuite très longtemps, sur les tramways à accumulateurs de Saint-Denis à l'Opéra et à la Madeleine, installés en 1892. Cette Société, ayant pris a forfait l'entretien des accumulateurs employés sur ces lignes (les premières qui aient fait usage de ces appareils et en même temps les premières exploitées à Paris par ce mode de traction) jugea indispensable de relever exactement le courant absorbé par les moteurs dans les diverses périodes de marche et dans les différents points de la voie. On m'a dit qu'on avait fait usage au début d'un ampèremètre enregisteur Richard, du type stationnaire à poids, mais on n'a pu m'indiquer si l'appareil était muni ou non d'un piston amortisseur plongeant dans un liquide, ni quels avaient été les résultats obtenus.

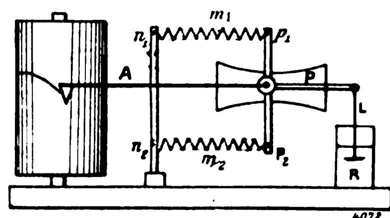


Fig. 1. — Appareil enregistreur Richard à ressorts à boudin avec amortissement mécanique.

Au bout de peu de temps, le type Richard à poids fut remplacé par un nouveau type créé spécialement par la maison Richard, semblable au type stationnaire au point de vue des organes électriques, mais dans lequel le couple résistant, au lieu d'être constitué par un contrepoids fixé à la palette de fer doux, est formé par deux ressorts à boudin m_1 m_2 (fig. 1), fins et longs, en laiton, disposés horizontalement entre deux points fixes n_1 n_2 et les extrémités p_1 p_2 d'une tige solidaire de l'axe de la palette mobile P. Sur cet axe est montée, dans le prolongement de l'aiguille en aluminium A, une tige en laiton L au bout de laquelle est suspendu un piston en feuille de laiton de 25 mm de diamètre et 0,5 mm d'épaisseur, qui plonge dans un godet en verre de 50 mm de haut renfermant un liquide. Cet amortisseur mécanique est destiné à soustraire l'équipage mobile à l'influence des petites oscillations causées par les trépidations; en outre, pour parer aux mouvements de forte amplitude causés par les chocs brusques, on a adapté à l'ensemble de l'appareil enregistreur une suspension élastique : après avoir essayé de suspendre aux mains courantes de la voiture, par 4 lanières en caoutchouc, un plateau en bois supportant l'appareil, on a obtenu de meilleurs résultats en soutenant le plateau P (fig. 2) par des cordes c réunies ensemble à un ressort à boudin un peu dur R, suspendu au plafond de la voiture; on a reconnu la nécessité de suspendre un poids assez fort M au-dessous du plateau, sans quoi l'on observe un balancement étendu de toute l'installation, causant une oscillation de la plume, au moment des freinages. Je ne crois pas qu'on ait fait de relevés en disposant l'appareil enregistreur sur un support élastique au lieu de le suspendre; on aura probablement essayé au début de poser simplement l'appareil à poids sur la banquette, directement ou avec interposition de plaques de caoutchouc et l'on n'aura obtenu qu'une courbe épaisse, car avec cet appareil, dont l'aiguille était très sujette à osciller, les pièces de caoutchouc pleines ne donnaient pas, d'après M. Vuilleumier, un amortissement suffisant, qu'on n'obtient qu'avec des pièces creuses

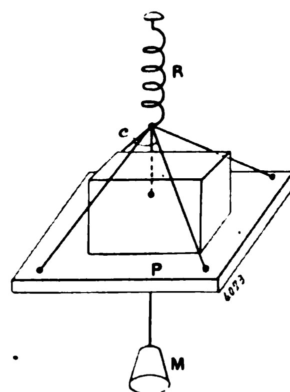


Fig. 2. — Installation d'un appareil enregistreur Richard sur des voitures de tramways.

agissant comme des bandages pneumatiques; lorsque ensuite on employa les appareils à ressorts, on ne songea plus à essayer la pose sur coussins élastiques primitivement écartée.

On a fait des expériences sur les tramways de Saint-Denis avec des ampèremètres, des wattmètres et des voltmètres enregistreurs. Il eut été intéressant de savoir si l'on avait employé toujours dans le système amortisseur un piston plein et surtout de connaître la composition liquide amortisseuse employée dans chacun de ces cas (la glycérine pure a été trouvée, je crois, trop visqueuse, et l'on a fait usage de liquides plus fluides), mais je n'ai pu avoir de renseignements précis sur ces petits détails, qui ont leur importance comme on le verra plus loin; je n'ai pu savoir si les indications enregistrées ne présentaient pas, dans certains cas, des « altérations » [1] et enfin si les appareils avaient besoin d'être réglés souvent. On n'a pas pu me montrer des courbes obtenues avec les divers appareils enregistreurs parce qu'on n'a plus fait d'essais depuis plusieurs années, mais on m'a dit que les courbes publiées dans le journal en 1896 par M. Pellissier [2], et qui sont très nettes, reproduisaient bien le trait des appareils.

En 1899 et 1900 la Société Tudor a relevé, à l'aide d'ampèremètres enregistreurs Richard du type à ressorts, le courant absorbé par les accumulateurs de son système fonctionnant sur les tramways de la place de la République à Pantin et à Aubervilliers et sur ceux de la Madeleine à Puteaux. Elle a employé la même suspension flexible que celle adoptée sur les tramways de Saint-Denis et décrite plus haut; le liquide amortisseur était de l'huile de vaseline, corps moins visqueux que la glycérine pure, dans lequel plongeait un piston plein. On m'a montré à l'usine d'Aubervilliers des courbes dont le trait était très net et que l'on estimait indiquer exactement toutes les variations très rapides du courant. On m'a dit qu'il fallait régler de temps en temps les ressorts de l'appareil.

A la Compagnie générale de traction on m'a dit avoir fait, en 1899 et 1900, des expériences sur des voitures de tramways à trôlet à l'aide d'ampèremètres et de wattmètres enregistreurs Richard, toujours du même type à ressorts. Les appareils étaient posés simplement sur une banquette et quelquefois même directement sur une tablette en bois dans la plateforme en bois du mécanicien; les courbes obtenues étaient bonnes. C'est tout ce que j'ai pu savoir.

La Société Tudor a fait des essais, soit à Puteaux, soit à Aubervilliers, avec ampèremètre enregistreur Chauvin et Arnoux suspendu, je crois, de la même manière que le Richard. L'appareil Chauvin et Arnoux, décrit dans ce journal, consiste en un galvanomètre d'Arsonval dont la bobine mobile à axe horizontal porte une longue aiguille verticale terminée par une molette spéciale contenant de l'encre et appuyant sur le papier. L'appareil ne possède pas d'amortissement mécanique, mais l'amortissement magnétique usuel. Cette molette ne donne pas, même sur les appareils fixes, un trait aussi fin que la plume Richard, que la maison Chauvin et Arnoux adopte maintenant sur ses appareils. Sur des voitures de tramways soumises à des trépidations continuelles la molette donnait, paraît-il un trait toujours très épais, et manquant de toute précision au moment des oscillations étendues; l'appareil Chauvin et Arnoux, qui fonctionne bien dans des installations fixes, se trouve en effet dans de mauvaises conditions pour ne pas être influencé par des mouvements perturbateurs, parce que son couple déviant est très faible (9 grammes seulement) et par suite son couple amortissant également.

La Compagnie Thomson-Houston a fait en 1893, au Havre, des relevés sur des voitures électriques à trôlet, à l'aide d'un appareil Abdank Abakanowicz et Meylan donnant à la fois l'intensité et la tension du courant, ainsi que la vitesse du tramway. Des essais analogues ont été effectués avec le même appareil par la Compagnie Thomson-Houston à Rouen en 1896, à Lyon de 1896 à 1898, et par la Compagnie Générale de traction à Marseille en 1898.

Quoique cet appareil n'ait été construit qu'à deux exemplaires, dont l'un a été acquis par la Compagnie des tramways de Lyon et dont l'autre doit se trouver probablement à la Compagnie

---

[1] Faute d'un terme plus convenable, je désigne ainsi la réduction d'amplitude observée sur les courbes, au moment des variations rapides, lorsque l'équipage mobile présente dans son mouvement de l'hytérésis.

[2] Voy. *L'Éclairage Électrique*, 11 janvier 1896, p. 69, 70, 71.

Thomson-Houston, nous en parlerons assez longuement parce que nous avons eu sur lui des renseignements détaillés, grâce à l'obligeance de M. Burton, qui l'a employé beaucoup à la Compagnie Thomson, et qu'il s'agit d'un appareil intéressant ignoré de tous (il n'a jamais été décrit nulle part, m'a dit M. Meylan) et devenu à présent une sorte d'objet de musée.

L'appareil Abdank-Meylan se compose de trois galvanomètres d'Arsonval enregistreurs, montés côte à côte sur un plateau en bois, et dont les inscriptions sont recueillies sur une bande de papier unique. Un premier galvanomètre est relié directement à la ligne du trôlet et au châssis de la voiture et constitue le voltmètre; le second indique la vitesse du tramway par la mesure de la force électro-motrice d'une petite magnéto actionnée par un essieu de la voiture; enfin le troisième qui joue le rôle d'ampèremètre, est branché aux bornes d'une résistance connue de faible valeur, intercalée dans le circuit des moteurs électriques.

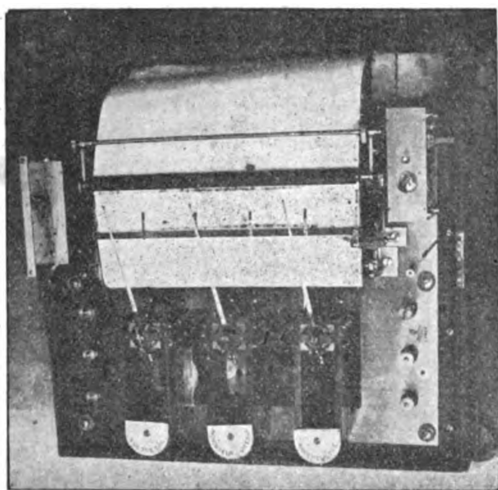


Fig. 3. — Appareil enregistreur multiple Abdank-Meylan pour mesures sur des voitures de tramways.

La figure 3 représente une photographie de l'appareil. Les aimants des galvanomètres sont constitués par trois piles d'acier horizontales en U, dont les extrémités sont réunies par une plaque en laiton dont les branches portent intérieurement deux pièces polaires rapportées, évidées en arcs de cercle, et à l'intérieur desquelles est fixé verticalement un cylindre de fer doux : le cadre, mobile entre le cylindre central et les pièces polaires, est supporté par un axe vertical monté en haut et en bas sur pierre, et portant à sa partie supérieure un ressort spiral ; la disposition du champ magnétique de l'appareil est donc semblable à celle du galvanomètre d'Arsonval ordinaire. Une longue aiguille horizontale en aluminium est calée sur une courte tige horizontale, pivotant entre deux vis pointeaux montées sur un support disposé à la partie supérieure de l'axe du cadre. L'aiguille proprement dite peut donc tourner autour d'un axe horizontal et son prolongement est muni d'un contrepoids à vis au moyen duquel on équilibre la plume, de façon que celle-ci appuie très légèrement sur le papier ; toutes les plumes employées dans l'appareil sont du type Richard. Le papier est enroulé en avant et au-dessous des plumes sur un cylindre à axe libre disposé horizontalement et perpendiculairement aux aimants des galvanomètres ; à l'aplomb des plumes, il appuie sur une sorte de table en plateau fixe, passe sous un cylindre horizontal cannelé qui lui communique un mouvement d'entraînement convenable, puis sous une tige tendeuse et après avoir passé sur un cylindre fixe d'appui, vient tomber en arrière de l'appareil. Le cylindre cannelé est commandé par un mouvement d'horlogerie (que l'on voit à droite et à l'arrière de l'appareil) qui permet de donner au papier deux vitesses de déroulement différentes, toutes deux très élevées : 60 cm ou 6 cm par minute. A l'extrémité droite du papier appuie une plume à axe fixe vertical commandée par une came montée sur l'axe du cylindre libre contenant le papier, et qui produit un léger déplacement de l'aiguille toutes les minutes. A l'extrémité gauche du papier se trouve une autre plume analogue, susceptible d'un léger déplacement sous l'action d'un électro-aimant mû par le courant d'une pile sèche et commandé par un mécanisme que l'on voit à gauche et à l'arrière de l'appareil. Ce mécanisme peut être actionné soit à la main, sous la pression d'une poire pneumatique lorsque l'expérimentateur veut noter un point intéressant du parcours, soit automatiquement par un compteur de tours recevant directement son mouvement de l'essieu par une cordelette. Les bornes que l'on voit en avant de l'appareil, à droite et à gauche, servent à établir les connexions convenables avec les trois galvanomètres.

L'appareil complet était posé pendant les essais sur un plateau en bois, suspendu aux mains courantes de la voiture par quatre lanières de caoutchouc. Un expérimentateur, qui surveillait le

déroulement du papier, maintenait l'appareil contre son bras, de façon à l'empêcher d'osciller dans le sens de la marche. L'enregistrement de la vitesse exigeait une installation assez importante : sur le bâti du moteur de tramway M (fig. 4) était vissé une équerre en fer *ab* verticale, traversant le plancher B de la voiture par la trappe de visite du moteur, et supportant à sa partie supérieure un petit axe *d* sur lequel était montée une poulie P_2 mise en mouvement à l'aide d'une corde par une poulie P_1 calée sur l'essieu, à côté du moteur M : le mouvement de l'axe *d* était transmis à l'axe *r* de la machine magnéto A par un fil d'acier *f* de 1 mm jouant le rôle de flexible. Le collecteur de la machine magnéto était relié par deux fils conducteurs au galvanomètre situé au milieu de l'appareil. L'ensemble était calculé de façon à donner sur le milieu de la feuille de papier une déviation de 3 mm environ par km : h ; la course de l'aiguille était d'ailleurs limitée par deux butées ; la course des autres aiguilles était limitée de la même manière par des butées. On obtenait ainsi sur la feuille de papier trois courbes superposées : celle du haut indiquait l'intensité, celle du milieu la vitesse, et celle du bas la tension. On employait du papier blanc mince, non rayé ; le zéro des trois courbes était indiqué par trois traits horizontaux tracés par trois plumes fixes montées sur les butées des aiguilles ; les trois appareils étaient étalonnés au préalable en marquant sur une échelle mobile en papier la déviation correspondant à une valeur déterminée lue sur un appareil de mesure non enregistreur et en divisant l'échelle en parties égales (puisque dans les trois appareils, du type d'Arsonval, les déviations sont exactement proportionnelles). On reportait ensuite sur le papier à courbes la graduation de l'échelle mobile (comme dans le tracé de la figure 5), ou bien l'on se contentait de placer l'échelle mobile sur les ordonnées, dont on voulait connaître la valeur. On ne constatait presque aucune variation dans les indications du voltmètre et de l'ampèremètre, aussi ne vérifiait-on pas souvent son étalonnage ; on se contentait de vérifier avant chaque série d'expériences que les aiguilles étaient bien au zéro et de les ramener, en cas de besoin, à la position voulue en tournant légèrement le bouton fixé sur leur axe ; mais les zéros variaient, en réalité, très peu. On vérifiait au contraire l'étalonnage de l'indicateur de vitesse avant chaque série journalière d'essais, à l'aide d'un tachymètre ou d'un compteur de tours, non à cause du galvanomètre, dont le réglage ne bougeait pas, mais des transmissions de la machine magnéto qui étaient sujettes à de fréquentes variations. On pouvait d'ailleurs vérifier la courbe de vitesse obtenue dans les diverses expériences d'une journée à l'aide des crochets tracés en bas de la feuille à chaque tour de roue. Les galvanomètres, étant à circuit mobile, n'avaient pas d'hystérésis magnétique et par conséquent enregistraient, sans aucun retard ni atténuation, toutes les variations des courbes. Le seul reproche que l'on ait fait à l'appareil, c'est qu'il fallait régler assez souvent la pression des plumes sur le papier pour que d'une part il n'y ait pas de manque dans le trait, et que d'autre part le frottement sur le papier ne fût pas trop grand : on pouvait toutefois admettre, étant données les vitesses considérables de déroulement du papier, une valeur notable pour ce frottement, sans craindre de ce fait aucune hystérésis dans le mouvement de la plume. Le remplissage des plumes constituait une autre sujétion, mais indépendante celle-là de la construction de l'appareil : en raison du déroulement très rapide du papier, les plumes Richard se vidaient assez rapidement ; il fallait les remplir au bout de trois quarts d'heure environ de marche, mais cette opération ne présentait pas d'inconvénient, puisque l'installation de l'appareil était trop complexe pour pouvoir être abandonnée sans observateur.

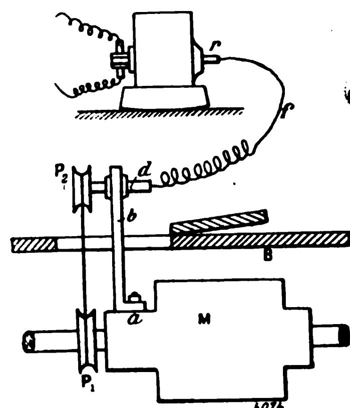


Fig. 4.

Les figures 5, 6, 7 produisent très exactement certaines parties d'une bande de 5 m de long, obtenue par M. Burton, sur la ligne de tramways du cours Lafayette, à Lyon. La bande n'est que le calque de la courbe originale qui n'a pu être retrouvée, mais on m'a affirmé que les traits donnés par l'appareil avaient bien la netteté du tracé, ce qui est très vraisemblable, avec la rapidité de déroulement de cette bande, 60 cm par minute, l'influence des trépidations ne pouvait guère se faire

sentir sur les plumes, amorties d'ailleurs par les courants de Foucault. L'échelle a été réduite pour l'impression dans le journal, mais sur la bande une seconde était représentée par 1 cm et 1/10 de seconde par 1 mm. Les courbes sont intéressantes parce qu'elles ont enregistré les moindres phénomènes de la marche. La portion de courbe *ag* (fig. 5) représente le départ du cours Lafayette : au moment *a*, où le régulateur est sur la première touche, l'intensité monte instantanément à 57 ampères en moins de 1/10 de seconde, puisque la courbe affecte la forme d'un arc de cercle qui déborde la verticale ; cette intensité tombe très vite à 30 ampères au bout d'une-demi seconde, à 10 ampères au bout de 2, 5 secondes ; à ce moment *b* on passe à la deuxième touche, l'intensité

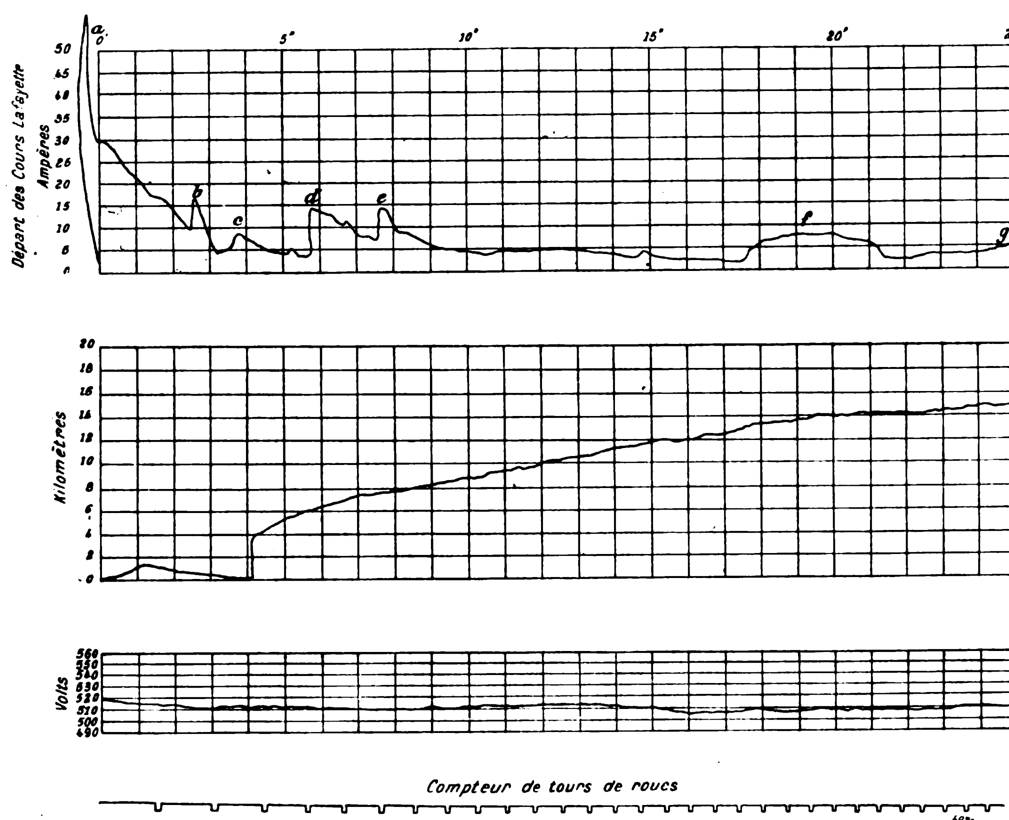


Fig. 5. — Courbes relevées sur les tramways de Lyon avec l'appareil Abdank-Meylan.

remonte instantanément à 17 ampères, puis retombe à 5 ampères, et la vitesse augmente graduellement (c'est par une erreur de reproduction que le trait du milieu de la figure 5 tombe à ce moment à zéro, en réalité il monte d'une façon continue) ; après une seconde, la petite élévation *c*, à 8 ampères, provient d'une petite augmentation de la résistance à la traction due probablement au passage d'une éclisse ; à 5,08 secondes la vitesse est déjà de près de 6 km : h, on passe à la troisième touche, l'intensité remonte à 14 ampères, puis redescend 2 secondes après ; à 7,8 secondes, la vitesse est arrivée à 7,5 km : h ; on met le régulateur sur la quatrième touche et on l'y laisse. l'intensité après être remontée à 14 ampères, atteint à 10 secondes son régime normal de 5 ampères environ, tandis que la vitesse continue à croître sur la voie en palier en vertu de l'accélération acquise ; la courbe est arrêtée sur la figure 5 au moment où la vitesse est de 15 km : h. après 25 secondes ; mais en réalité cette vitesse augmente encore, quoique le débit reste constant et atteint 17,5 km : h après 35 secondes, le débit et la vitesse restent ensuite sensiblement constants. Les plus légères variations dans l'état de la voie sont indiquées, telles que la bosse *f* qui correspond à une partie un peu plus dure du rail ou à une éclisse. Pendant toute la période *ag* la

tension du trôlet reste sensiblement constante et voisine de 520 volts ; on voit sur le trait inférieur les encoches indiquant les tours de roues se rapprocher de plus en plus. Les courbes de la figure 6 représentent le passage dans une courbe très raide, au chemin de la Viaberth ; la vitesse étant de 16 km : h et la voie étant en palier on coupe le courant ; la vitesse diminue progressivement et n'est plus que de 11 km : h après 11 secondes ; à ce moment, un peu avant d'aborder la courbe, le mécanicien tourne vivement le régulateur à la troisième ou quatrième touche : le courant monte brusquement à 23 ampères, varie entre 20 et 25 ampères pendant les 5 secondes de l'entrée de la courbe puis se maintient à 16 ampères pendant 40 secondes, quoique la courbe diminue, parce que la vitesse

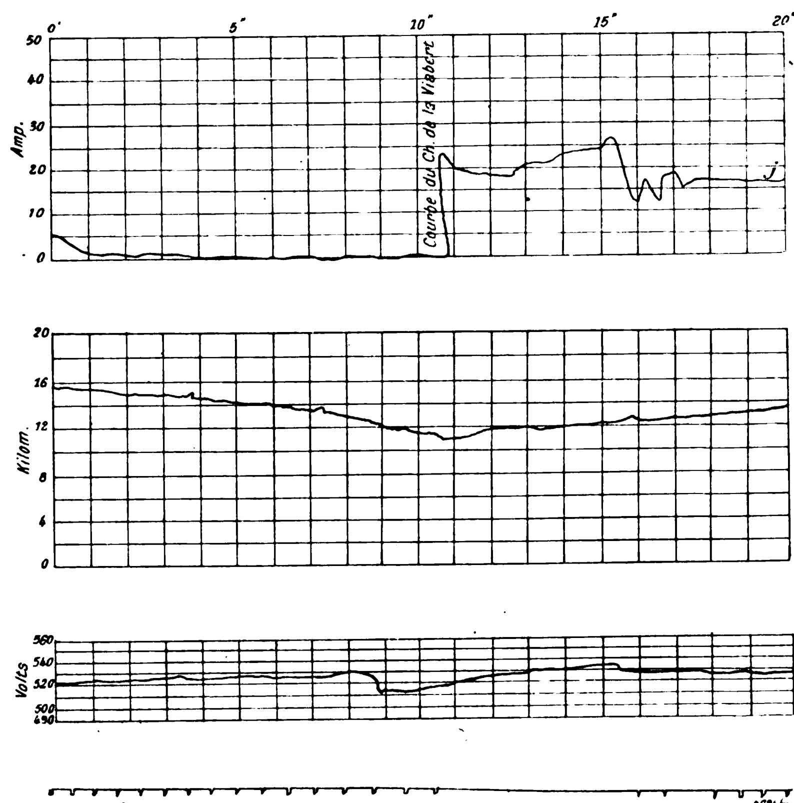


Fig. 6. — Courbes relevées sur les tramways de Lyon avec l'appareil Abdank-Meylan.

remonte lentement jusqu'au chiffre primitif de 17 km : h. La tension reste voisine de 520 volts ; au temps 8 secondes, on remarque pendant une seconde une chute d'une quinzaine de volts, mais cette chute ne correspond pas à l'entrée en courbe, elle provient du passage simultané de plusieurs voitures dans la section de ligne considérée ou d'un léger défaut de contact de la roulette du trôlet ; il y a des manques dans l'inscription des tours de roue. La figure 7 représente un petit incident de marche. La voiture roule à 9 km : h avec un débit constant de 5 ampères, quand en *l* se produit un déraillement de la roulette du trôlet, la tension du trôlet tombe subitement de 540 volts à zéro ; le conducteur s'apercevant de l'échappement de la perche, la remet aussitôt en place pendant que la voiture est en marche. La courbe de l'ampèremètre indique que le courant a été supprimé pendant 14 secondes de *l* en *n* ; pendant ce temps la vitesse descend à 4 km : h, puis remonte dès que le courant est établi ; mais c'est la courbe du voltmètre qui est curieuse à examiner ; à l'instant *m*, 6 secondes après le déraillement, commence la manœuvre de remise en place du trôlet : les pointes que l'on voit ensuite indiquent les contacts imparfaits qui se produisent pendant le temps employé de *m* en *m'* (6 secondes) pour bien engager la roulette sous le fil.

Les sommets des dernières pointes dépassent fortement la valeur normale de la tension de la ligne ; ils sont plus élevés que les valeurs réelles de la tension parce que l'équipage du voltmètre n'étant amorti complètement que pour de faibles variations, son aiguille est soumise à un certain « lancé » l'orsqu'elle passe brusquement de zéro à 500 volts.

L'appareil Abdank-Meylan qui vient d'être décrit a été délaissé dans ces dernières années parce qu'il était trop coûteux et demandait une installation trop importante et que d'ailleurs on a

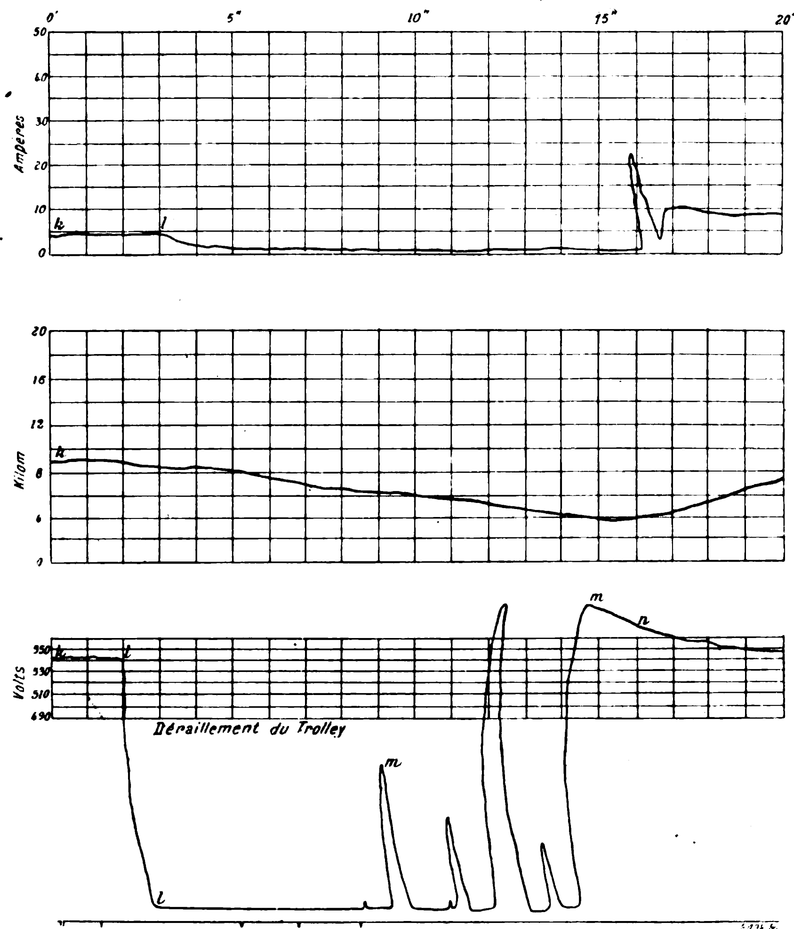


Fig. 7. — Courbes relevées sur les tramways de Lyon avec l'appareil Abdank-Meylan.

jugé inutile de faire des relevés aussi complets. On s'est contenté le plus souvent de faire seulement des relevés avec des ampèremètres-enregistreurs Meylan et quelquefois avec des voltmètres enregistreurs du même type, construits les uns et les autres par la maison Gaiffe, depuis trois ans environ. C'est à l'aide d'appareils de ce genre que des essais ont été faits en 1899, 1900 et 1901, par la Compagnie Thomson-Houston sur les tramways à accumulateurs et trôlet du Cours de Vincennes au Louvre, de Malakoff aux Halles et de Saint-Germain-des-Près à Clamart.

Le principe des appareils Meylan a déjà été indiqué dans le journal à propos des appareils exposés en 1900 ([1]), mais il n'en a été fourni qu'un croquis purement schématique. Les figures 8 et 9 donnent la représentation réelle de ces appareils. Ce sont des galvanomètres, à cadre mobile,

([1]) Voy. *L'Éclairage Électrique*, 9 février 1901, p. 199.

genre d'Arsonval, caractérisés par une forme spéciale de l'aimant. Cet aimant, dit normal, est constitué par une bande d'acier C d'une seule pièce forgée en forme d'ovale de section uniforme, et dont les extrémités polaires *a*, *b*, au lieu d'être disposées en regard l'une de l'autre, sont à recouvrement. La bobine mobile passe au travers de la branche *a* et sa face *m* se déplace en tournant autour de l'axe *r*, dans l'espace compris entre l'arc extérieur de la pièce polaire *a* et l'arc intérieur de la pièce polaire *b*. Cette disposition permet, en choisissant convenablement le sens du courant circulant dans la bobine, de créer par le passage du courant un champ magnétique qui s'ajoute constamment à celui de l'aimant *a b*, tandis que dans la disposition ordinaire du galvanomètre d'Arsonval le champ magnétique créé par le cadre mobile est toujours de sens contraire à celui de l'aimant, comme dans l'induit d'une dynamo. L'affaiblissement du champ directeur

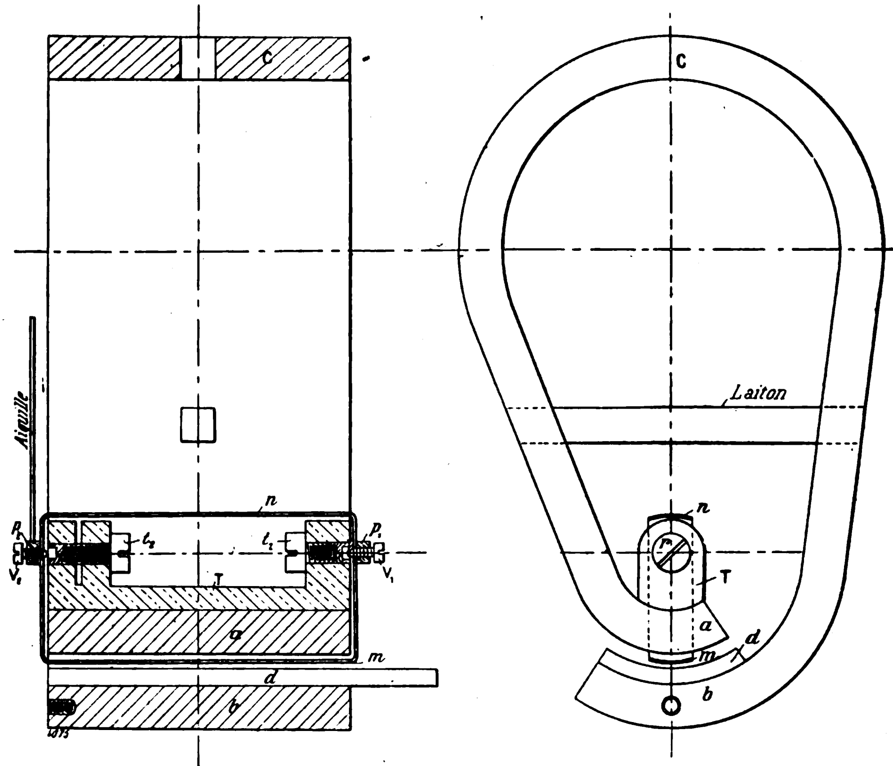


Fig. 8 et 9. — Coupe et vue de face d'un galvanomètre Meylan.

résultant de cette dernière disposition n'est guère à redouter dans les voltmètres, dont le circuit mobile n'est jamais parcouru que par un courant extrêmement faible ; il peut être appréciable dans les ampèremètres des stations centrales dont le circuit mobile peut être traversé par des courants relativement intenses dans les cas assez fréquents où surviennent des courts-circuits dans l'installation. Avec la disposition Meylan au contraire, l'aimant ne peut jamais se désaimanter par le passage d'un courant même anormal dans le circuit mobile, puisque celui-ci tend toujours à renforcer l'aimantation du champ directeur. Les appareils Meylan à aimant normal ne comportent pas de noyaux en fer doux à l'intérieur de la bobine, puisqu'un seul côté de celle-ci est actif; une lame courbe de fer doux *d*, facile à travailler, est seulement rajoutée à l'intérieur de la pièce polaire *b* de façon à régler exactement l'entrefer à la valeur voulue. Le côté *m* seulement du cadre mobile jouant un rôle actif, le couple déviant et l'amortissement ne sont que la moitié de ce que donnerait une bobine de même nombre de spires et de même inertie se déplaçant dans un champ magnétique de même intensité, suivant la disposition ordinaire ; mais l'infériorité n'est qu'apparente, car il est à remarquer que dans la disposition Meylan la forme de l'entrefer permet de

donner au champ magnétique une intensité beaucoup plus forte et qu'on réduit le moment d'inertie de la bobine mobile en excentrant fortement celle-ci (voir fig. 9), de sorte qu'en pratique l'apériodicité obtenue est la même que dans les autres appareils genre d'Arsonval. Dans les derniers appareils Meylan, que construit à présent la Compagnie pour la fabrication des compteurs, le champ magnétique est encore renforcé par l'adjonction, à l'extrémité des branches de l'aimant, de pièces polaires rapportées de forte section. La bobine mobile *mn* est fixée sur deux tourillons p_1 p_2 traversés par deux pointeaux V_1 V_2 qui appuient sur deux cuvettes en pierres dures serties à l'extrémité des vis t_1 t_2. Ces vis t_1 t_2, qui permettent de serrer plus ou moins la bobine, sont montées sur un bloc en laiton T fixé contre la branche interne *a* de l'aimant. Sur le tourillon p_2 est adaptée une longue aiguille en aluminium et un ressort spécial dont on peut déplacer l'attache à l'aide d'un bouton moleté. Ces dernières pièces ne sont pas représentées sur la figure, mais on peut les voir sur la photographie de la figure 10. On voit également sur cette figure que l'aiguille est fixée sur le tourillon par une lame flexible ondulée, plate et assez large et qu'elle porte au-dessus de son point d'attache un contre-poids réglable.

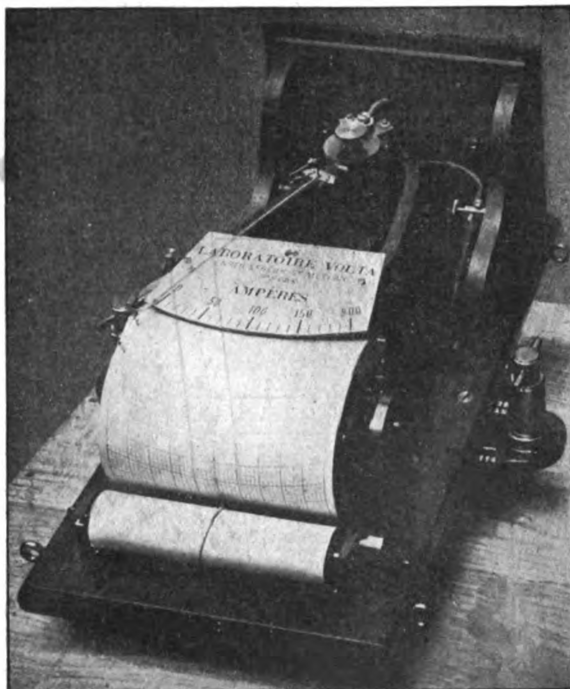


Fig. 10.— Vue d'un appareil enregistreur Meylan.

Les appareils employés pour les essais de tramways avaient l'aimant disposé horizontalement sur une planchette supportant un gros tambour à axe horizontal, mû par un mouvement d'horlogerie et sur lequel venait s'enrouler le papier placé sur un cylindre fou placé en avant, de sorte qu'il n'était pas nécessaire de changer le papier à chaque révolution du tambour. L'aiguille terminée par une plume Richard se déplaçait dans un plan horizontal sur la partie supérieure de la feuille de papier. On employa d'abord du papier quadrillé courbe suivant les divisions du temps et des intensités ; mais comme la disposition du cylindre donnait un déroulement de droite à gauche on trouva plus commode de se servir d'un papier blanc léger permettant de suivre la courbe de gauche à droite par transparence. On marquait les échelles à la main ; celle des temps, d'après la longueur développée du cylindre et l'instant du départ relevé à la montre ; celle des intensités, en pointant sur une échelle mobile en papier la déviation correspondant à une valeur inscrite sur un cadran horizontal disposé au sommet du cylindre (ce cadran permet d'employer l'appareil non seulement comme enregistreur mais pour des lectures directes) et en traçant des divisions proportionnelles. Une plume fixe traçait un trait continu correspondant au zéro, trait qui est utile parce que le papier peut se déplacer légèrement d'un côté ou d'autre pendant le déroulement. La position de repos de l'aiguille ne changeait pour ainsi dire pas ; dans le cas où elle ne coïncidait pas exactement avec le zéro du cadran, on la ramenait à la position voulue en tournant le bouton moleté de l'axe. La comparaison avec des appareils de précision a montré que l'étalonnage de l'enregistreur ne bougeait pas.

Dans tous les essais faits avec les enregistreurs Meylan sur des tramways, on s'est contenté de poser l'appareil sur les coussins des voitures. La figure 11 est la reproduction calquée aussi exactement que possible sur l'original, et réduite d'un tiers environ, d'une portion de courbe relevée avec un ampèremètre enregistreur sur le tramway de Malakoff aux Halles ; la portion A se rapporte à la consommation de courant des moteurs pendant la marche avec les accumulateurs seuls ;

le déroulement n'étant pas très rapide, 1 cm par minute environ, les trépidations ont rendu en certains points la courbe un peu épaisse ([1]), et il y a probablement un peu de lancé dans les pointes des démarrages ; néanmoins la courbe est très lisible. Il est à remarquer que ces tracés ont été pris avec un ampèremètre Meylan à aimant d'une seule pièce, donnant un couple déviant d'environ 18 gr-cm ; les nouveaux modèles à pièces polaires rapportées ayant un champ beaucoup plus intense n'auront presque pas de lancé et donneront un trait plus net parce qu'ils auront un amortissement plus grand. A noter qu'il faut lire la courbe de droite à gauche, mais l'original qui est sur papier mince peut être examiné de gauche à droite par transparence.

La portion B, qui a été obtenue en plaçant l'ampèremètre dans le circuit des accumulateurs, pendant la marche sous trôlet à Malakoff, forme en certains points de petits pâtés d'encre, à cause des variations incessantes du courant de charge sous l'influence de légères variations du potentiel de la ligne ; les pointes sans épaisseur sont également dues à des lancés et ne doivent pas être comptées. Cette courbe est intéressante, car elle montre quelle intensité considérable les accumulateurs doivent supporter au début de la charge : 155 ampères pour des éléments Union de 45 ampères-heures de capacité. Au bout de huit minutes et demi a lieu un arrêt de 1,3 minute et demie ; le courant n'est déjà plus que de 83 ampères ; on s'arrête encore après trois minutes de marche ; puis après un court arrêt de vingt secondes, la charge se continue pendant six minutes ; le courant est tombé à 40 ampères environ au moment de l'arrêt, après dix-sept minutes de charge effective. Les enregistreurs Meylan donnant des déviations proportionnelles dans toute l'étendue de l'échelle, ce qu'on n'a pas avec les appareils Richard, on peut obtenir la quantité de courant en intégrant la surface enfermée dans les courbes

([1]) Il faut employer dans les plumes d'enregistreurs de l'encre à l'aniline additionnée de glycérine qui ne peut s'obtenir qu'en rouge, bleu ou violet, toutes couleurs qui ne viennent pas à la photographie.

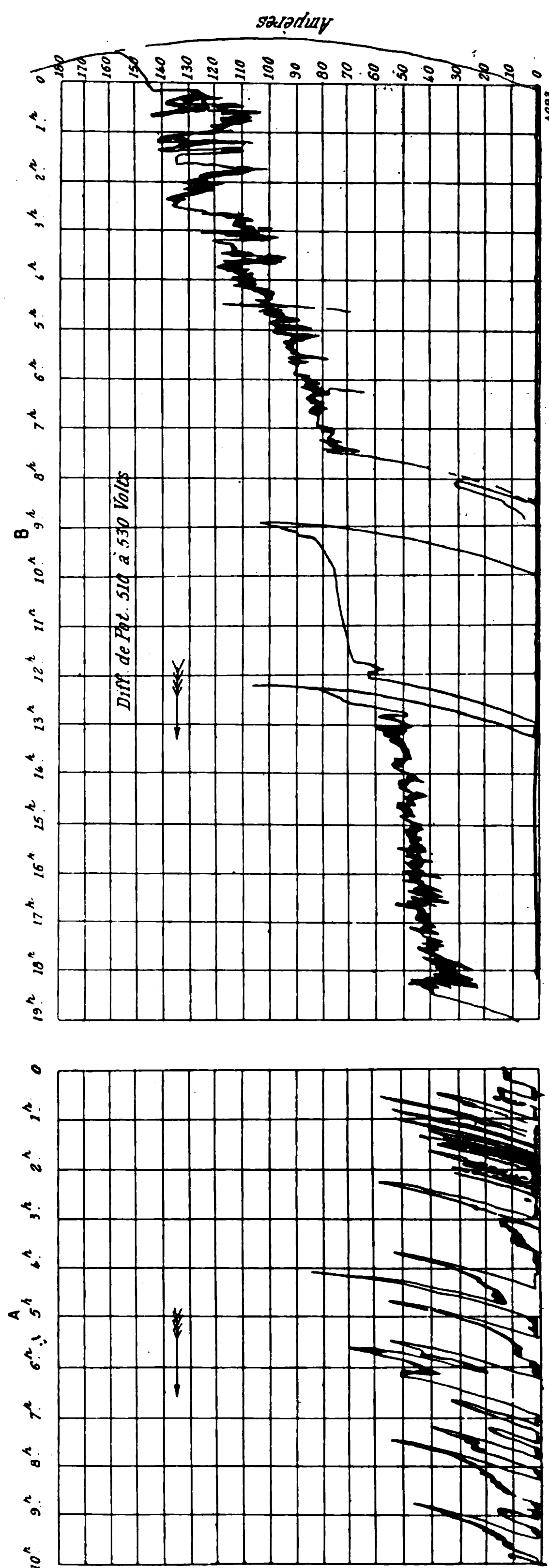


Fig. 11. — Courbes relevées sur les tramways de Malakoff aux Halles, avec un ampèremètre Meylan. Courant de consommation des moteurs et courant de charge sous trôlet.

de l'ampèremètre enregistreur. Un procédé très simple consiste à découper les courbes et à en prendre le poids comparé à celui d'une surface étalon. L'opération n'est guère pratique pour évaluer la consommation de courant pendant la marche dans Paris à cause des arrêts trop fréquents (courbe A de la fig. 11 par exemple) ; mais elle peut être employée commodément pendant la marche extra-muros ; dans le cas particulier de la courbe B de la fig. 11, cette intégration permet de se rendre compte de la quantité d'électricité récupérée par les accumulateurs pendant la marche sous trôlet, renseignement de première importance dans les systèmes mixtes à trôlet et accumulateurs.

Pour les tramways de ce genre les voltmètres enregistreurs peuvent également être très utiles ; ils permettent de vérifier si la tension reste suffisamment constante pendant la marche sous trôlet, ce qui est une condition essentielle, car si le réseau est mal équilibré et que le potentiel descende très bas en certains points, les accumulateurs ne reçoivent plus qu'une charge insuffisante, comme celà est arrivé, paraît-il, à Berlin, où l'on a abandonné maintenant le système mixte. J'ai eu entre les mains une courbe originale tracée par un voltmètre enregistreur Meylan sur la partie extra-muros de la ligne de tramways des Halles à Malakoff ; je ne l'ai pas fait reproduire parce qu'elle avait la forme d'une ligne presque horizontale ne variant qu'entre 530 et 510 volts ; le trait était plus fin que dans les courbes obtenues avec l'ampèremètre parce que les écarts de l'aiguille sont beaucoup moins grands et rapides et que l'appareil est établi pour donner à peu près le même couple déviant et amortissant que l'ampèremètre, ce qui est facile puisque le champ magnétique étant produit par un aimant reste le même. Dans les voltmètres Richard au contraire, comme c'est la bobine active qui produit le champ magnétique il faudrait un enroulement trop considérable pour obtenir, dans le cas du voltmètre, un champ magnétique aussi intense que dans un ampèremètre et l'on se contente d'une induction plus faible qui produit un couple déviant plus faible.

Il n'a pas été fait usage jusqu'à présent de wattmètres enregistreurs établis par M. Meylan ; ces appareils devraient d'ailleurs être construits sur un tout autre type que les voltmètres et ampèremètres.

D'après ce qui a été fait jusqu'à présent, on peut dire, en résumé, que les ampèremètres enregistreurs ont été et seront toujours employés toutes les fois qu'on construira des lignes nouvelles à accumulateurs, parce qu'ils fournissent, sans installation compliquée, des relevés exacts qu'il est indispensable de connaître pour faire fonctionner rationnellement les batteries. Sur les lignes à trôlet nouvelles les ampèremètres enregistreurs ne seront probablement plus beaucoup employés, comme au début, parce qu'à présent on est bien fixé sur les types de moteurs à employer, et que les consommations instantanées n'ont guère qu'un intérêt documentaire. Je crois que l'on tendra plutôt à faire usage sur ces tramways de compteurs destinés à contrôler l'habileté des mécaniciens et la consommation d'énergie à l'usine. L'emploi des voltmètres enregistreurs est en outre précieux pour les tramways mixtes à trôlet et accumulateurs ; dans les autres cas, tramways à batteries isolées ou à trôlet, il ne présente pas grand intérêt. Quant aux wattmètres enregistreurs qui ont été employés un peu au début, il est probable qu'ils ne seront plus guère employés sur les tramways, parce qu'ils ne donnent pas d'indications plus utiles que les ampèremètres, sauf dans le cas peu fréquent où l'on veut faire de la récupération sur les lignes à accumulateurs.

(*A suivre.*)

Ch. Jacquin.

NOUVEAU CONVERTISSEUR UNIVERSEL

DE M. MAURICE LEBLANC

Principe de l'appareil. — Le premier de ces convertisseurs (nouveau type) a été construit par la Société Hélios, de Cologne, et c'est celui qui fait l'objet de cette étude (1). Comme les applica-

(1) Quelques généralités sur la transformation des courants alternatifs en courants continus et quelques mots sur les dispositifs antérieurement appliqués par M. Leblanc pour réaliser cette transformation, feront mieux comprendre la conception ingénieuse sur laquelle est basé le nouveau convertisseur.

Tous les courants électriques engendrés par les machines d'induction modernes étant par essence des courants alternatifs, l'idée de leur emploi direct, sous cette forme, s'est tout naturellement imposée à l'esprit.

La bonne volonté des ingénieurs qui sont entrés les premiers dans cette voie s'est heurtée à des phénomènes complexes d'induction et de résonance encore mal connus à cette époque et dont l'analyse rationnelle et complète a paru d'abord presque inabordable. De là, dans l'esprit des industriels, la défaveur qui s'est attachée pendant longtemps aux courants alternatifs ou périodiques.

Peu à peu cependant les savantes recherches et les expériences patientes de Tesla, de Hertz, de Blondel, de Leblanc, de Dobrowolski, pour n'en citer que quelques-uns, ont montré que les courants alternatifs étaient susceptibles d'applications industrielles nombreuses, doublement pratiques à cause de la simplicité de construction des appareils et de leur rendement élevé. Il importe néanmoins de reconnaître que dans certaines applications le choix des courants continus s'impose; et que, dans quelques autres, il est même impossible de s'en passer (charge des accumulateurs, électrométallurgie, etc.).

La discussion entre les partisans des deux systèmes est donc puérile et l'idéal serait de pouvoir distribuer, à volonté, l'énergie électrique, — par un même réseau — sous l'une ou l'autre forme.

Une usine génératrice double alimentant deux canalisations distinctes ne fournirait qu'une solution compliquée et peu économique du problème. Il faut donc choisir et engendrer l'énergie électrique sous une forme unique — courants alternatifs ou courants continus — en disposant des appareils de transformation, soit aux centres de distribution, soit chez les clients eux-mêmes, comme on le fait actuellement dans les grands réseaux. Dans cet ordre d'idées le choix des courants alternatifs s'impose, puisque la construction simple et robuste des alternateurs permet la génération directe de courants à haute tension, indispensables pour la transmission économique à distance de l'énergie électrique.

Le problème de la distribution par courants alternatifs, mais à tension réduite, est déjà résolu par les transformateurs statiques. Celui de la distribution sous forme de courants continus à basse tension est évidemment plus complexe puisqu'il s'agit de réduire la tension des courants alternatifs et — en même temps — de les transformer en courants continus.

Pour arriver à ce résultat on a été tout naturellement conduit à accoupler un transformateur statique et une commutatrice, le premier appareil réduisant la tension des courants alternatifs primaires et le second transformant les courants alternatifs secondaires, c'est-à-dire à basse tension, en courants continus également à basse tension. Au début, la commutatrice elle-même fut un appareil double et composée d'un moteur à courants alternatifs actionnant une génératrice à courants continus.

Un peu embarrassé par un système aussi complexe, on a d'abord simplifié la commutatrice en montant les deux enroulements sur le même arbre, ce qui supprimait l'accouplement; puis en enroulant les deux circuits sur une même carcasse tournant dans un système inducteur unique; et enfin, en employant le même enroulement qui recevait d'une part des courants alternatifs et engendrait d'autre part des courants continus. Mais la commutatrice ainsi simplifiée, mécaniquement et électriquement, exigeait toujours un transformateur statique. Pour le supprimer, certains inventeurs sont revenus aux deux enroulements distincts sur la même carcasse et alimentent l'un d'eux directement avec les courants alternatifs de distribution à haute tension. Ce nouvel appareil qui remplace l'ensemble transformateur-commutatrice a reçu le nom de convertisseur. Dans cette catégorie d'appareils, les plus connus sont celui de Schuckert et celui de Steinmetz, mais nous laissons à des plumes plus autorisées que la nôtre le soin de développer cet historique et de faire la critique de ces appareils. Nous remarquerons seulement que les convertisseurs comme les commutatrices présentent deux graves défauts communs : un échauffement rapide et une commutation très défectueuse.

Déjà, depuis 1892, MM. Hutin et Leblanc, dont les études sur les courants alternatifs étaient déjà connues, avaient fait breveter un système résolvant d'une manière très ingénieuse le problème de la double transformation, et qui, pour cette raison, a été désigné par l'expression pittoresque et significative de « Panchahuteur » ou par celle plus académique de « Transformateur-Redresseur ».

Ce système, qui a déjà reçu de nombreuses applications, a fait l'objet d'articles parus dans différents journaux techniques. Nous nous bornerons donc à rappeler qu'il se compose d'un transformateur statique, spécial, polyphasé,

tions de l'appareil peuvent être très variées, nous allons supposer — pour fixer les idées en exposant son principe — que le problème qu'il doit résoudre est celui de la transformation de courants polyphasés à haute tension en courant continu basse tension.

Les courants polyphasés qui alimentent l'appareil créent un champ tournant dans un transformateur fixe en forme d'anneau dont les bobines secondaires sont reliées aux touches d'un collecteur également fixe. Les forces électromotrices à basse tension engendrées par la rotation du

---

et d'une commutatrice également spéciale. Le secondaire du transformateur est constitué par un certain nombre de bobines également réparties sur les différents noyaux. Les nombres de spires varient, sur chaque noyau, d'une bobine à l'autre, suivant une loi sinusoïdale ; une moitié des bobines secondaires d'un même noyau étant enroulée à droite, l'autre moitié à gauche. Les sinusoïdes représentant les variations du nombre des spires sur un même noyau, sont décalées l'une sur l'autre de l'angle qui correspond au système polyphasé adopté. Toutes les bobines du même numéro sur les noyaux sont reliées en tension et tous les groupes ainsi constitués sont connectés également en série de manière à former un circuit fermé. Les points pris sur les connexions secondaires entre un groupe de bobines et le suivant sont reliés, au moyen de frotteurs et de bagues, aux touches de même numéro d'un collecteur unique, généralement multipolaire. Dans ces conditions, les différences de potentiel instantanées, entre les lames de même numéro et de polarités opposées, en suivant la périphérie du collecteur, sont représentées par les ordonnées de plusieurs sinusoïdes, puisque le système est polyphasé. Mais, comme ces différences de potentiel sont décalées l'une sur l'autre en fonction du temps, il suffit de faire tourner le collecteur, avec la vitesse même de variation des forces électromotrices, devant des balais fixes, pour recueillir, dans ces derniers, un courant redressé à voltage constant. La vitesse de rotation devant être synchrone de la vitesse de variation de flux du transformateur (si le collecteur est bipolaire), le moyen le plus logique pour l'obtenir est d'alimenter le moteur du collecteur par des dérivations des bobines secondaires elles-mêmes, et c'est ce que MM. Hutin et Leblanc font le plus souvent dans leurs appareils.

En résumé, le premier panchahu teur est basé sur une constitution et une combinaison des bobines secondaires d'un transformateur, de telle sorte que la force électromotrice instantanée entre des points convenablement choisis, soit de forme sinusoïdale ; et qu'en passant d'un groupe de connexions à un autre, on retrouve une force électromotrice sinusoïdale, identique à la précédente, mais décalée par rapport à elle en fonction du temps, comme le sont les forces électromotrices engendrées dans les différentes spires d'un anneau Gramme. En passant d'un groupe de connexions au suivant avec une vitesse synchrone de la variation de force électromotrice, on recueille un courant de tension constante.

On verra que le principe du nouveau panchahuteur de M. Leblanc ne diffère pas notablement de l'ancien, mais que les nouvelles dispositions adoptées permettent d'obtenir des flux et des forces électromotrices pratiquement sinusoïdales et de multiplier les applications du système.

Quelques remarques sur la commutation en général avant d'aborder l'étude de l'appareil.

On sait que dans les commutatrices et les convertisseurs, aussi bien que dans les génératrices de courant continu, le problème d'une bonne commutation est des plus difficiles à résoudre. Pour qu'elle se fasse bien, il faut que la variation de flux dans la bobine mise en court-circuit soit nulle. A cette condition, il n'y aura aucune force électromotrice et par suite aucun courant développé dans la bobine au moment de la commutation. Dans une dynamo à courant continu par exemple, s'il n'existait qu'un seul flux générateur d'intensité constante, toujours perpendiculaire à la ligne des balais et réparti autour de l'anneau suivant une loi sinusoïdale, la commutation serait parfaite. Mais dans la pratique il n'en est jamais ainsi ; il existe toujours au contraire d'autres champs nuisibles dont les variations engendrent des courants parasites qu'il faut détruire ou dont il faut absorber l'énergie par un moyen quelconque. C'est pour arriver à ce dernier but qu'on a imaginé d'intercaler des résistances soit entre les balais d'un même pôle, soit entre les connexions reliant les touches du collecteur aux bobines génératrices. Dans ce cas, la suppression des étincelles aux balais correspond à une perte d'énergie par effet Joule et partant à une diminution de rendement de l'appareil.

Il est donc infiniment plus rationnel de détruire les flux nuisibles par des flux égaux et de sens opposé, développés par des enroulements auxiliaires indépendants ou montés en opposition avec les enroulements principaux. En d'autres termes il faut opposer à toute force nuisible une force égale et directement opposée ; dans l'espèce ce sont des flux qui se détruisent mutuellement.

Ce principe fondamental est un de ceux sur lesquels sont basés la plupart des appareils Leblanc et en particulier son nouveau panchahuteur.

Remarquons enfin qu'on trouve dans toute commutatrice trois parties constitutives essentielles, et que chacune d'elles est réversible ; ce sont :

Un transformateur de tension ;
Une machine à courants alternatifs ;
Une machine à courants continus.

Il est possible toutefois de combiner un appareil dont certains organes peuvent jouer un double ou un triple rôle — c'est le cas de quelques commutatrices — mais on retrouve toujours, à l'analyse, les trois parties constitutives ci-dessus. On le constatera une fois de plus dans le nouveau panchahuteur Leblanc.

champ dans les bobines secondaires sont identiques et régulièrement décalées l'une sur l'autre, comme dans les bobines d'armature d'une dynamo Gramme bipolaire dont les inducteurs tourneraient autour de l'induit fixe.

Si donc on fait tourner les balais autour du collecteur fixe, avec une vitesse synchrone de celle du champ, on recueillera entre les balais des courants secondaires redressés à voltage constant.

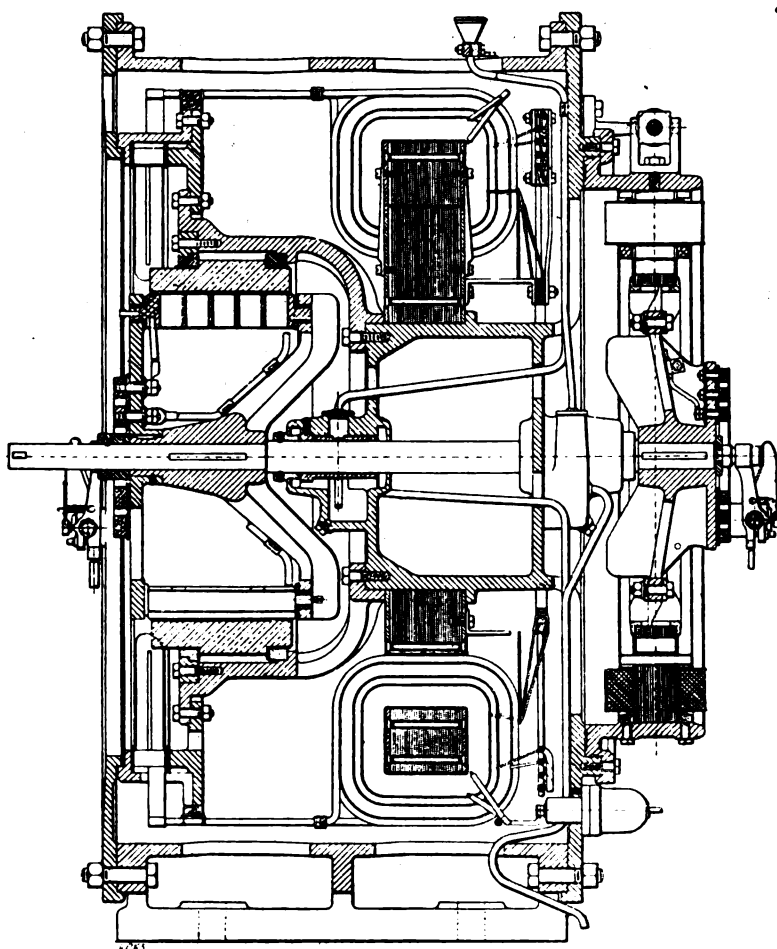


Fig. 1. — Coupe verticale suivant l'axe de l'appareil.

Enfin le transformateur lui-même est muni d'un système de bobines dites « compensatrices » pour assurer au champ tournant une intensité constante — toutes choses égales d'ailleurs — et une répartition sinusoïdale autour de l'anneau.

Description générale. — Nous décrirons d'abord l'appareil (fig. 1 à 4) en réservant l'étude de son système compensateur, qui, constituant l'un des organes essentiels, fera l'objet d'un paragraphe spécial.

Transformateur. — Sur un tore de section rectangulaire, formé par une pile de tôles minces, isolées et découpées en forme de couronne, sont montées 60 bobines.

Celles-ci sont régulièrement espacées et composées chacune de quatre enroulements distincts, superposés et parfaitement isolés les uns des autres.

Dans l'intérieur du tore est encastré avec le jeu mécanique minimum un anneau lamellé et

denté portant 60 encoches qui épousent aussi rigoureusement que possible la partie interne des bobines composées. Cet anneau ferme les circuits magnétiques du transformateur.

Chacune des bobines composées comprend :

1° Une bobine primaire, P ;

2° Une première bobine compensatrice, C ;

3° Une seconde bobine compensatrice, C′ ;

4° Une bobine secondaire, S.

Toutes les bobines primaires sont identiques et connectées en série ; l'enroulement complet est donc analogue à celui d'un anneau Gramme, dont les sections seraient nettement séparées par des intervalles égaux.

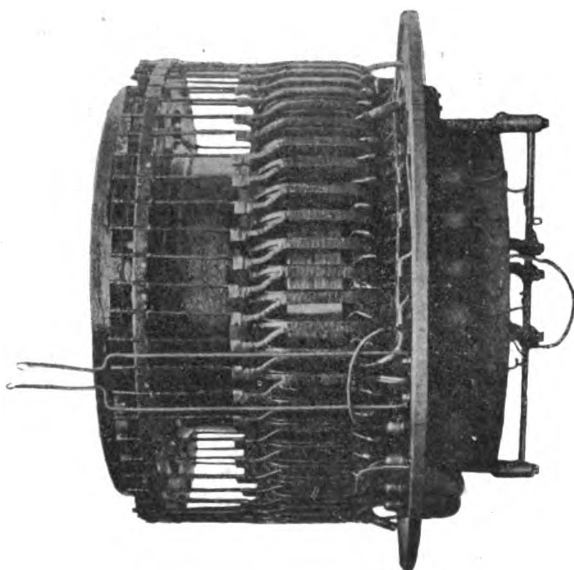


Fig. 2. — Transformateur monté sur son support.

Il en est de même pour les bobines secondaires.

Les bobines compensatrices sont groupées d'une façon spéciale et de manière à fournir des courants alternatifs biphasés à basse tension dans des circuits dits « circuits résultants ». Nous y reviendrons plus loin.

Le transformateur proprement dit, constitué par les deux couronnes magnétiques, les 60 bobines, et le disque isolant portant les connexions des circuits compensateurs forme un ensemble complet et indépendant.

Il est fixé sur un tambour formant bâti interne et portant, venus de fonte avec lui, les deux paliers de l'appareil et un plateau circulaire ajouré perpendiculaire à l'axe du transformateur.

Ce plateau est boulonné sur une enveloppe cylindrique portant, venu de fonte avec elle, le socle de l'appareil.

Sur la partie inférieure du plateau sont fixées 8 bornes : soit quatre pour les circuits résultants et quatre pour les circuits primaires à haute tension. Ces dernières correspondent aux quatre prises de courants disposées aux extrémités de deux diamètres rectangulaires sur l'anneau primaire.

Collecteur et balais. — Sur le tambour formant bâti interne de l'appareil, et du côté opposé au moteur des balais, se trouve vissé le support, en forme de cuvette, du collecteur. Ce dernier muni de frettes isolées est encastré dans son support.

Le collecteur comportant 8 paires de pôles, pour un anneau bipolaire de 60 sections, est formé par 480 touches.

Dans chacune de ces dernières est soudée une lame de cuivre formant deux développantes symétriques. Toutes les développantes appartenant aux touches de même numéro sont soudées entre elles. On constitue ainsi 60 groupes de connexions. Chaque groupe est enfin relié par une tige de maillechort au point commun à deux bobines secondaires successives du transformateur.

Le nombre des pôles du collecteur, et par suite du moteur des balais, a été imposé par la nécessité de ne pas dépasser une vitesse linéaire convenable à la surface de contact du collecteur.

C'est dans l'intérieur de celui-ci que tournent les frotteurs en charbon destinés à recueillir le courant continu ou à l'amener à l'appareil.

Les frotteurs de chaque ligne, au nombre de cinq, sont logés dans les alvéoles d'un support en bronze, de façon à y pouvoir jouer librement ; les alvéoles sont ouverts seulement du côté du collecteur.

Les supports des frotteurs sont montés, avec garnitures isolantes, dans un croisillon claveté sur l'arbre de l'appareil. La face extérieure de ce croisillon porte deux bagues concentriques séparées et isolées de la masse. Chacune d'elles est connectée aux lignes de frotteurs de même polarité pour des câbles souples. Deux paires de balais métalliques, reliés à 2 bornes extérieures, amènent ou recueillent le courant continu sur les bagues de contact.

Moteur des balais. — C'est un moteur synchrone à 16 pôles, à courants alternatifs biphasés, qui, dans notre cas, sont fournis par les circuits résultants du transformateur.

L'armature mobile en tôles minces et isolées porte un anneau Gramme-Pacinotti.

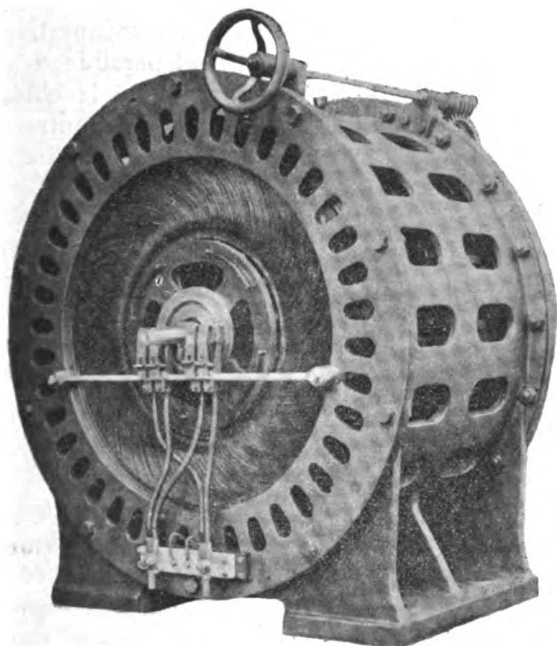


Fig. 3. — Vue de l'appareil côté du collecteur.

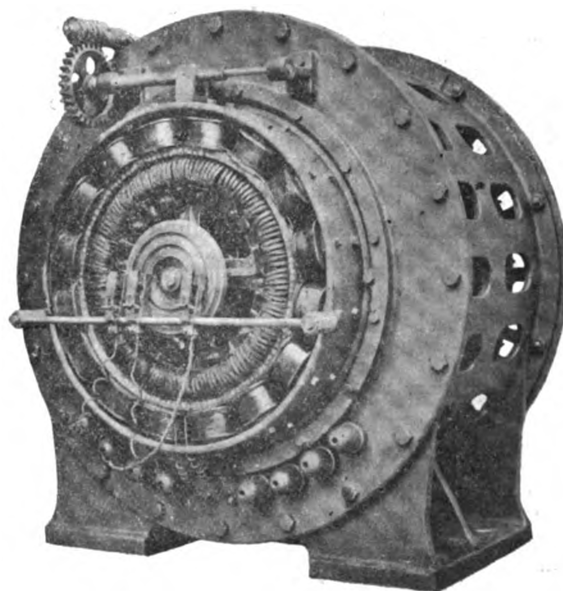


Fig. 4. — Vue de l'appareil côté du moteur.

3 bagues concentriques de prises de courants sont boulonnées à travers des isolants sur le croisillon-support d'armature.

L'une de ces bagues sert de retour commun aux deux circuits de l'anneau et les courants, biphasés, sont amenés aux bagues par 3 frotteurs à ressorts.

Les noyaux d'inducteurs sont boulonnés dans l'intérieur d'une couronne en fonte qui complète les circuits magnétiques. Cette couronne est fixée sur le plateau du tambour portant le transformateur, c'est-à-dire du côté opposé au collecteur.

La fixation est faite de telle sorte que tout le système inducteur puisse tourner d'un certain angle autour de l'axe de l'appareil. La rotation est obtenue par un écrou d'entraînement, articulé sur la couronne des inducteurs, et traversé par une vis à l'extrémité de laquelle est claveté un petit volant à main. Nous reviendrons plus loin sur l'utilité de ce dispositif.

Les épanouissements polaires des noyaux inducteurs lamellés sont découpés suivant une courbe qui assure une répartition sinusoïdale du flux dans l'entrefer. Ces épanouissements sont en outre percés pour recevoir des tiges de cuivre isolées, qui sont rivées à leurs extrémités dans deux couronnes les mettant toutes en court-circuit.

Ce dispositif constitue l'amortisseur-synchroniseur.

Les propriétés de cet organe, également dû à M. Leblanc, sont trop connues pour qu'il soit nécessaire d'y insister.

On voit par la description qui précède que l'arbre de l'appareil porte seulement deux

organes : d'un côté du transformateur le croisillon-support des frotteurs, de l'autre l'armature du moteur.

La puissance de ce dernier est relativement faible : 1,5 à 2 p. 100 de la puissance totale de l'appareil. Ceci s'explique puisque le moteur n'a à vaincre que les résistances passives du système en rotation ; la plus considérable est due au frottement des charbons dans le collecteur.

Système compensateur. — Les nombres de spires et les sens des enroulements des bobines compensatrices varient, quand on passe de l'enroulement C à l'enroulement C′, et de chaque bobine composée à la suivante, suivant une loi assez compliquée que l'inventeur définit comme suit :

ν est une constante représentant le nombre maximum de spires d'une bobine compensatrice, nombre que l'on choisit arbitrairement et qu'on a intérêt à prendre le plus grand possible.

2K représente le nombre total des bobines composées sur le transformateur. On le choisit aussi grand que possible pour se rapprocher du sectionnement parfait et il doit être en outre un multiple de 4 pour donner, dans chaque quadrant du transformateur, un nombre entier de bobines

Dans le transformateur que nous décrivons on a fait : $\nu = 100$, $2K = 60$.

Numérotons les encoches de l'anneau intérieur du transformateur 1, 2, 3, 4... 2K en tournant toujours dans le même sens autour de l'anneau.

L'encoche de rang x contient, comme déjà dit, deux bobines compensatrices superposées, C_x et C'_x dont les nombres de spires n_x et n'_x doivent satisfaire « l'un ou l'autre » des deux systèmes d'équations ci-dessous :

$$\left.\begin{aligned} n_x &= \nu . \sin \frac{2\pi}{2K} x \\ n'_x &= \nu . \cos \frac{2\pi}{2K} x \end{aligned}\right\} \quad (1) \qquad \left.\begin{aligned} n_x &= -\nu . \cos \frac{2\pi}{2K} x \\ n'_x &= -\nu \sin \frac{2\pi}{2K} x \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Nous désignons toujours par n le nombre de spires de C, c'est-à-dire de l'enroulement compensateur le plus rapproché du noyau.

Les nombres de spires doivent satisfaire au système d'équations (1) lorsque x est compris entre zéro et $\frac{K}{2}$ inclus et entre $\frac{3K}{2} + 1$ et 2K inclus, en d'autres termes, lorsque les bobines appartiennent par exemple à la moitié supérieure de l'anneau, c'est-à-dire au-dessus de l'axe XX′ (fig. 5).

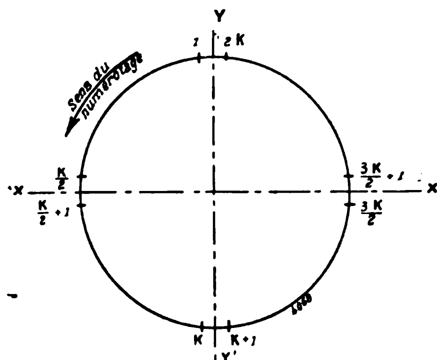


Fig. 5.

Par contre, les nombres de spires doivent satisfaire au système d'équations (2) lorsque x est compris entre $\frac{K}{2} + 1$ et K inclus et entre K + 1 et $\frac{3K}{2}$ inclus, en d'autres termes, lorsque les bobines appartiennent à la moitié inférieure de l'anneau, c'est-à-dire au-dessous de l'axe XX′.

On voit que ces nombres de spires sont des fonctions sinusoïdales dont l'amplitude maxima est ν.

Il est aisé de se convaincre d'autre part que les signes dont nous avons, pour des raisons particulières, affecté ces fonctions ne sauraient être confondus avec les signes propres des fonctions circulaires elles-mêmes. Il y a donc lieu d'appliquer la règle des signes pour savoir si les valeurs n_x et n'_x sont positives ou négatives. Après avoir procédé de la sorte on admettra que le signe final indique par exemple des enroulements à droite s'il est positif, et à gauche s'il est négatif.

Enfin toutes les fois que n_x et n'_x prendront la valeur zéro on substituera à l'enroulement un simple fil ne contournant pas le noyau magnétique.

Mode de groupement. — Les circuits compensateurs internes et externes, considérés jusqu'ici comme tout à fait indépendants, doivent être groupés (schéma fig. 6) d'après les règles suivantes :

Le fil de sortie de chaque bobine interne C_x du quadrant o à $\frac{K}{2}$ est relié au fil de sortie de la bobine externe $C'_{x+\frac{K}{2}}$ du quadrant $\frac{K}{2}+1$ à K.

Le fil de sortie de chaque bobine externe C'_x du quadrant o à $\frac{K}{2}$ est relié au fil de sortie de la bobine interne $C_{x+\frac{K}{2}}$ du quadrant $\frac{K}{2}+1$ à K.

Le fil de sortie de chaque bobine interne C_x du quadrant $\frac{3K}{2}+1$ à 2 K est relié au fil de sortie de la bobine externe $C'_{x-\frac{K}{2}}$ du quadrant $K+1$ à $\frac{3K}{2}$.

Le fil de sortie de chaque bobine externe C'_x du quadrant $\frac{3K}{2}+1$ à 2 K est relié au fil de sortie de la bobine interne $C_{x-\frac{K}{2}}$ du quadrant $K+1$ à $\frac{3K}{2}$.

Toutes les bobines compensatrices, au nombre de 120, sont ainsi groupées par deux en série pour former 2 K ou 60 « circuits composés ».

Conventionnellement nous appelons « premiers circuits composés » ceux qui comprennent les bobines internes des quadrants $\frac{3K}{2}+1$ à 2 K et o à $\frac{K}{2}$.

Nous appelons « seconds circuits composés » ceux qui comprennent les bobines externes des mêmes quadrants.

Toutes les extrémités libres des premiers circuits composés sont montées en dérivation entre les deux barres communes I et II.

Toutes les extrémités libres des seconds circuits composés sont montés en dérivation entre les deux barres communes III et IV.

Nous formons ainsi finalement 2 « circuits résultants » l'un branché entre les barres I et II, l'autre branché entre les barres III et IV.

Enfin chaque barre commune est connectée à une borne extérieure portant le même numéro.

Les circuits compensateurs ainsi constitués jouissent de propriétés remarquables. La démonstration analytique sera publiée quelque jour par le savant inventeur lui-même et traitée avec sa maëstria habituelle. Nous nous bornerons à indiquer les grandes lignes de cette démonstration, parce que cette indication sommaire nous paraît nécessaire à l'intelligence du compensateur qui est un des organes essentiels du nouveau convertisseur.

M. Leblanc prouve tout d'abord que, grâce aux enroulements définis par l'un ou l'autre des deux systèmes d'équations (1) et (2), on peut considérer :

1° Que tous les « premiers circuits compensateurs composés » peuvent être considérés comme formés de

$$\nu \sin \frac{2\pi}{2K} x \text{ spires}$$

dans l'encoche de rang x (moitié supérieure de l'anneau) et de

$$-\nu . \cos \frac{2\pi}{2K} x \text{ spires}$$

dans l'encoche de rang $x+\frac{K}{2}$.

2° Que tous les « seconds circuits compensateurs composés » peuvent être considérés comme formés de

$$\nu . \cos \frac{2\pi}{2K} x \text{ spires}$$

dans l'encoche de rang x (moitié supérieure de l'anneau) et de

$$-\nu . \sin \frac{2\pi}{2K} x \text{ spires}$$

dans l'encoche de rang $x + \frac{K}{2}$.

Lorsque l'appareil est alimenté par un ou plusieurs courants alternatifs qu'il transforme en courants continus, chacune de ses bobines composées est le siège d'une variation de flux périodique, dont l'équation nous est inconnue, mais qui est une fonction du rang occupé par la bobine considérée.

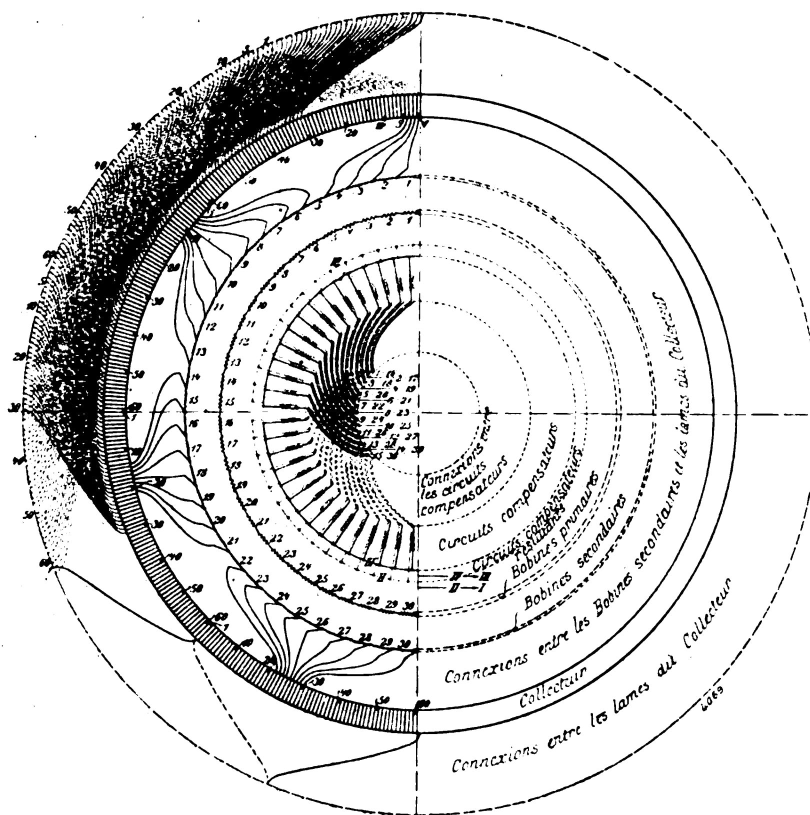


Fig. 6. — Schéma général des connexions

L'intensité de ce flux, si nous supposons que le courant qui le crée est égal à l'unité, peut être représentée par un développement de Fourier dont la forme générale est la suivante, en faisant la constante de construction $\frac{2\pi}{2K} = \theta$:

$$f = \begin{cases} \varphi_1 \sin \theta x + \varphi_2 \sin \theta 2x + \varphi_3 \sin \theta 3x + \ldots + \varphi_p \sin \theta p x \\ + \varphi'_1 \cos \theta x + \varphi'_2 \cos \theta 2x + \varphi'_3 \cos \theta 3x + \ldots + \varphi'_p \cos \theta p x \end{cases}$$

On sait que dans toute fonction de Fourier les termes de rangs pairs s'annulent lorsque « deux ordonnées quelconques, mais dont la différence d'abscisses est π, sont égales et de signes contraires ». Or nos enroulements sur l'anneau, aux extrémités d'un même diamètre sont par construction égaux et de signes contraires ; l'intensité du flux sera donc représentée par un développement de Fourier de la forme particulière :

$$f = \begin{cases} \varphi_1 \sin \theta x + \varphi_3 \sin \theta 3x + \varphi_5 \sin \theta 5x + \ldots + \varphi_p \sin \theta p x \\ + \varphi'_1 \cos \theta x + \varphi'_3 \cos \theta 3x + \varphi'_5 \cos \theta 5x + \ldots + \varphi'_p \cos \theta p x \end{cases}$$

M. Leblanc appelle flux à 2, 2×3, 2×5 branches ceux répartis autour d'un anneau comme les flux inducteurs de dynamos bi-polaires, hexapolaires, décapolaires, etc., si ceux-ci sont distribués de telle manière que leur intensité varie le long de la circonférence de l'anneau suivant une loi sinusoïdale.

La figure Flux à six branches représente dans ces conditions un flux à 6 branches.

En d'autres termes, p étant un nombre impair quelconque qui représente le nombre de paires de branches, l'intensité du flux dans une section faisant un angle θ avec un rayon pris pour origine devra être :

$$\varphi_p \sin \theta p x$$

pour que la répartition du flux suive la loi sinusoïdale voulue.

Le flux complexe, représenté par la forme particulière de la fonction de Fourier, peut donc être considéré comme la superposition d'une infinité de flux à 2, 6, 10, 14 ... $2p$ branches.

Enfin si le courant alternatif alimentant l'appareil est un courant d'intensité $I = A. \sin 2\pi\alpha t$, l'expression complexe du flux dans le transformateur devient :

$$f = A \sin 2\pi\alpha t \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1 \sin \theta x + \varphi_3 \sin \theta 3x + \varphi_5 \sin \theta 5x + \ldots + \varphi_p \sin \theta p x \\ + \varphi'_1 \cos \theta x + \varphi'_3 \cos \theta 3x + \varphi'_5 \cos \theta 5x + \ldots + \varphi'_p \cos \theta p x. \end{array} \right.$$

Partant de cette formule, M. Leblanc s'appuyant sur le théorème qui porte son nom (Décomposition d'un flux alternatif simple en deux flux constants, tournant en sens contraires et avec des vitesses égales à la fréquence) arrive aux conclusions suivantes :

1° *Cas de* $p = 1$ (Flux à deux branches). — « Toutes les forces électromotrices développées « dans les circuits compensateurs composés formant les circuits résultants sont égales et en oppo « sition et indépendantes du rang x ».

Par conséquent les flux à 2 branches ne peuvent développer aucun courant local, à moins que les circuits résultants ne soient eux-mêmes fermés, auquel cas tous les circuits composés débitent en parallèle sur les barres communes.

2° *Cas de* $p \geqq 3$ (Flux à 6, 10, 14, etc. branches). — Les forces électromotrices engendrées par la rotation de ces flux dans les circuits composés sont de deux sortes :

a. Des forces électromotrices telles que la somme des intensités des courants débités dans les barres communes soit constamment nulle.

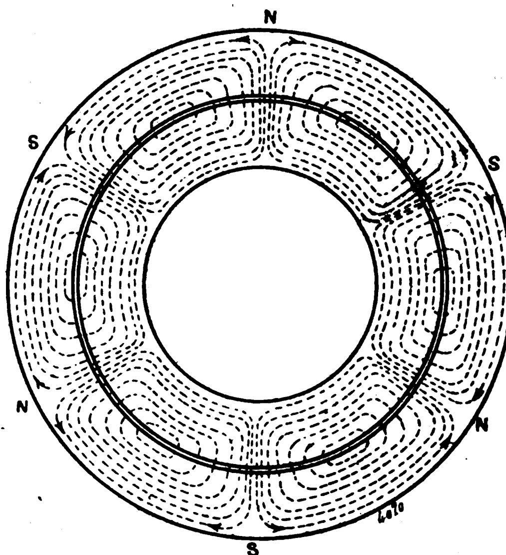


Fig. 7. — Flux à six branches.

Dans ces conditions tous les circuits compensateurs peuvent être considérés comme fermés sur eux-mêmes, et s'opposant au développement même des flux générateurs par les flux de réaction dus aux courants qui les parcourent.

Les circuits composés jouent donc, dans ce cas, le rôle de véritables amortisseurs.

b. Des forces électromotrices toutes égales et en opposition comme dans le cas de $p = 1$.

Ce sont précisément ces dernières qui sont susceptibles, lorsqu'on ferme les circuits résultants, de créer des courants et des flux nuisibles dans l'appareil — particulièrement au point de vue de la commutation. Il était donc nécessaire de se rendre compte de leur importance.

Dans ce but, poussant plus loin l'analyse, M. Leblanc prouve finalement que *les seuls flux qui*

puissent se développer dans l'appareil ont un nombre de branches caractérisé par l'équation :

$$2p = 2\,(2K.m \pm 1)$$

équation dans laquelle m peut être égal à zéro ou à un nombre entier quelconque.

C'est la propriété fondamentale des circuits compensateurs.

Les seuls flux qui pourront se développer dans notre appareil où $2\,K = 60$ seront donc donnés par le tableau suivant :

VALEURS DE m.	VALEURS DE $2p$.
0	2 branches
1	118 et 122 »
2	238 et 242 »
3	358 et 362 »
4	478 et 482 »
5	598 et 602 »

Le flux fondamental étant le flux à 2 branches, la première harmonique nuisible sera, dans notre cas, la 59ᵉ.

Tous ces flux tournent dans l'appareil les uns à droite les autres à gauche avec des vitesses $\frac{\alpha}{p}$, α étant la fréquence fondamentale des courants alternatifs alimentant l'appareil.

Pour obtenir une commutation parfaite la « condition théorique » est de n'avoir dans l'appareil qu'un flux unique à 2 branches et constamment perpendiculaire à la ligne des balais comme cela a lieu dans les dynamos à courants continus bipolaires, (abstraction faite de la réaction d'induit).

Si nous alimentons le primaire du transformateur avec un courant alternatif monophasé, nous savons que ce dernier (d'après le théorème de Leblanc) peut être considéré comme créant dans l'appareil deux flux à deux branches, tournant en sens contraires avec des vitesses angulaires $+\alpha$ et $-\alpha$. L'un de ces flux, celui qui tourne dans le même sens que les balais, constitue donc le champ utile, l'autre par contre est un flux nuisible qui créerait dans la bobine mise en court-circuit une force électromotrice de fréquence $2\,\alpha$. Il faut donc le détruire.

Nous reviendrons plus loin sur cette question.

Si nous alimentons au contraire le primaire du transformateur avec un système de courants polyphasés, fournissant, comme on sait, un seul champ tournant — à deux branches — il suffira de disposer de sa rotation pour qu'elle s'effectue dans le même sens que celle des balais.

Quant aux autres flux nuisibles qui peuvent se développer dans l'appareil, malgré le système compensateur, nous avons vu que les plus importants ont, dans notre cas, 118 branches au minimum.

Leur rotation développe dans les bobines de l'appareil des forces électromotrices de fréquences diverses, mais d'amplitude si faibles que leurs actions sont pratiquement sans effet sur la commutation.

En d'autres termes, grâce au système compensateur, la courbe des variations du flux générateur tournant dans l'appareil se rapproche tellement de la sinusoïde parfaite que nous pouvons pratiquement la traiter comme telle et en obtenir les mêmes effets.

La nécessité d'un sectionnement poussé aussi loin que possible découle implicitement des considérations précédentes.

(*A suivre.*) A. VINCENT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Perfectionnements aux pièces terminales et aux vis d'assemblage des batteries et connexions électriques. — Brevet français n° 304 958 du 29 janvier 1901.

Cet assemblage est représenté nettement par les figures 1 et 2, cette dernière étant une coupe.

b et *f* sont des écrous en plomb antimonieux; *a*, une vis en fer, cuivre, laiton ou autre métal. Cette vis porte un méplat qui permet d'effectuer d'abord le serrage dans l'ecrou *b*. On vient ensuite placer la rondelle en plomb *h*, puis les bandes *k* à réunir. Il ne reste plus qu'à adapter la rondelle *i*, semblable à *h*, et à serrer l'écrou *f* jusqu'à ce que les rebords aigus *g* aient pénétré

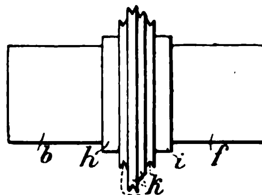


Fig. 1.

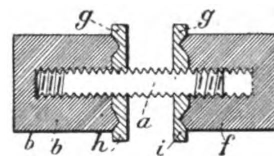


Fig. 2.

dans les rondelles de plomb. On obtient ainsi un joint hermétique et on évite toute attaque par l'acide.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 20 décembre 1901.

M. Armagnat présente les ***Appareils récents destinés à observer et à enregistrer la forme des courants alternatifs.***

Parmi les appareils l'*ondographe* de M. Hospitalier et le *rhéographe* de M. Abraham ont été décrits récemment dans ce journal (¹) ; ils n'ont guère été modifiés depuis cette époque, il n'y a pas lieu d'y revenir.

Les *oscillographes*, qui ont été également l'objet de plusieurs articles (²), reposent, comme on le sait, sur les principes théoriques indiqués dès 1893 par M. Blondel. Les deux modèles présentés, à lame de fer doux et bifilaire, ont été étudiés par M. Blondel avec la collaboration de M. Dobkévitch.

L'oscillographe à lame de fer doux, construit par M. Carpentier, est un appareil industriel par excellence. Il rappelle les galvanomètres à palette de fer doux de M. Marcel Deprez, avec cette différence que la palette de fer doux, oscillant entre deux pivots, est remplacée par un ruban de fer très doux, de 2 à 5 dixièmes de millimètre de largeur, sur environ 0,01 mm d'épaisseur. Cette lame est tendue entre deux chevalets et placée entre les pôles d'un aimant permanent ; une bobine perpendiculaire aux lignes de force de l'aimant, tend à faire dévier la lame de fer.

La période de vibration propre de la lame de fer doux est très courte, elle est due à l'action de l'aimant et à la rigidité de la lame. Un petit miroir fixé au milieu de la lame permet d'observer la déviation causée par le courant qui traverse la bobine. L'ensemble est plongé dans un tube de verre rempli d'huile afin d'amener la lame vibrante à l'amortissement critique.

Un miroir, commandé par un moteur synchrone, donne au rayon réfléchi par le miroir du galvanomètre, un mouvement tel que le spot lumineux se déplace sur l'écran perpendiculairement à la déviation et avec une vitesse uniforme. La combinaison des deux mouvements fait que le spot trace sur l'écran la courbe du courant en fonction du temps.

Tous les organes de l'appareil, galvanomètre, moteur synchrone, écran, etc. sont fixés dans une boite en bois qui permet le déplacement facile et réduit les réglages au minimum.

Dans l'oscillographe bifilaire, construit par M. Dobkévitch, l'organe mobile est un cadre de

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 64, 13 juillet 1901. *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 196, 9 février 1901. Voir aussi, t. XI, p. 145 et 462 ; t. XII, 180 et 350.

(²) Voir, t. XI, p. 158 ; XII, p. 347 ; XVI, 317 ; XVII, p. 419 ; XXIX, 391.

galvanomètre Deprez d'Arsonval, réduit à sa plus simple expression. Deux rubans plats, en bronze ou en argent, de quelques centièmes de millimètres de largeur, sur moins de un centième d'épaisseur, sont placés parallèlement et très près l'un de l'autre ; ils sont traversés, en sens inverses, par le courant étudié. Ce système, placé dans un champ magnétique intense, tend à dévier et un miroir, fixé au milieu des 2 fils, indique cette déviation. Ce galvanomètre joint à un miroir commandé par un moteur synchrone constitue un ensemble analogue au précédent.

L'oscillographe bifilaire est beaucoup plus sensible que celui à fer doux et il se prête à beaucoup d'expériences délicates : celles de l'électrophysiologie par exemple, mais le modèle à fer doux est largement suffisant pour la pratique industrielle.

Tous ces appareils : ondographe, oscillographe et rhéographe, présentent aujourd'hui un intérêt considérable et ils permettent de comprendre beaucoup de phénomènes restés obscurs jusqu'à présent. On connaît les belles études faites par M. Blondel sur l'arc électrique ; récemment encore, on a vu ici les résultats relevés sur de nombreux alternateurs ; le nombre d'applications est en quelque sorte illimité. Sur un courant *continu*, fourni par une commutatrice, on a pu constater que l'*intensité moyenne*, dans la charge d'une batterie d'accumulateurs, était absolument nulle, tandis que l'intensité *efficace* sur laquelle le courant avait été réglé, était l'intensité indiquée pour la dimension des accumulateurs.

Les courbes données par les oscillographes et rhéographes, montrent immédiatement la forme du courant et permettent de reconnaître l'influence des différents facteurs. Si nettes qu'elles soient, ces courbes sont cependant affectées par les variations *non périodiques*, de sorte qu'il est impossible de leur appliquer les moyens d'analyse graphique que l'on emploie pour déterminer l'*équation* d'une courbe périodique.

Un courant alternatif peut toujours être représenté par une série de Fourier, de sorte que si on peut déterminer l'*amplitude* et la *phase* de chacun des termes, l'équation se trouve établie. M. Armagnat a repris la méthode de *résonance*, proposée en 1893 par M. Pupin, en substituant un oscillographe ou un rhéographe à l'électromètre, comme appareil de mesure, il a pu ainsi obtenir l'amplitude et la phase, tandis que la méthode originale donnait l'amplitude seulement.

La méthode de Pupin consiste à envoyer le courant à étudier, ou une dérivation de ce courant, dans un *résonateur* composé d'une bobine de self-induction et d'une capacité en série. Chaque fois que la période de vibration propre du résonateur est égale à celle d'un des harmoniques, le courant qui traverse le système passe par un maximum dont la grandeur dépend presque uniquement de l'amplitude de l'harmonique visé ; ce courant est en raison inverse de la résistance *ohmique* seule, puisqu'à ce moment la capacité et la self-induction produisent des effets égaux et de signes contraires. Le produit LC donne la période de l'harmonique.

Avec les oscillographes on observe des courbes de forme très variable, mais dès que l'on arrive à la résonance avec un des harmoniques, la courbe de cet harmonique seul se trace sur l'écran, avec une régularité d'autant plus grande que la résonance est plus parfaite et que la *constante de temps* de la bobine de self-induction est plus élevée.

A la résonance le courant observé est exactement en phase avec l'harmonique étudié, de sorte que si on emploie un oscillographe double on peut, en gardant une courbe témoin, déterminer la phase de l'harmonique par rapport à cette courbe. L'amplitude des oscillations observées indique l'amplitude de l'harmonique. Enfin le nombre d'oscillations pendant une période de la courbe témoin donne l'*ordre* de l'harmonique, sans qu'il soit nécessaire de connaître L et C.

Pour les mesures d'intensité, la même méthode s'applique aisément à l'aide d'un transformateur sans fer, dont on connaît le coefficient d'induction mutuelle. Dans ce cas les oscillations observées sont retardées d'un quart de période.

ERRATUM

Dans le dernier numéro — t. XXIX, n° 52 — à la dernière ligne de la note finissant la page 472 :

Au lieu de angle droit, *lire* angle d'arc 1.

J'aurais dû d'ailleurs écrire plus correctement : *radian*, appellation de l'angle dont l'arc est égal au rayon.

E. R.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 11 Janvier 1902. 9e Année. — N° 2.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

RENDEMENT COMPARÉ

DES MACHINES A VAPEUR ET DES MOTEURS A GAZ

II. — Appareils a gaz

1° Gazogènes. — C'est M. Ayrton qui a trouvé la meilleure formule relative aux moteurs à gaz de ville et à gaz pauvre : les premiers, a-t-il dit, sont dans les mêmes conditions qu'un moteur électrique qui serait desservi par des piles ; les seconds sont assimilables à un moteur alimenté de courant par une dynamo. La comparaison est heureuse ; elle est d'ailleurs exacte, car le prix du gaz varie comme le prix du courant. Une étude faite par nous chez un imprimeur Lillois nous fournira les chiffres correspondants : au gaz de ville, à 15 centimes le mètre cube, le travail d'une année coûtait 5 973 fr ; avec des gazogènes Pierson, la dépense tombait à 2 786 fr., salaire du chauffeur compris, auxquels il fallait ajouter moins de mille francs pour intérêts et amortissements. Cette différence définit nettement les situations respectives des deux installations.

Le charbon employé provenait d'Anzin et il était rendu à l'usine au prix net de 25 fr la tonne. Le prix du mètre cube de gaz pauvre, d'un pouvoir moyen de 1 300 à 1 350 calories, ressortait à moins de un centime et demi, tous frais de manutention compris, avec intérêts à 5 p. 100 du capital et amortissement à 2 p. 100 du bâtiment abritant le gazogène et à 7 p. 100 du matériel mécanique. Voilà des chiffres précis, fournissant une base indiscutable de discussion.

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 janvier, t. XXX, p. 5.

Le rendement théorique d'un gazogène peut se calculer ainsi qu'il suit. Il se forme de l'oxyde de carbone par oxydation directe du carbone et par réduction d'une partie de l'acide carbonique qui s'est produit dans la combustion; la vapeur d'eau dissociée fournit de l'hydrogène combustible et de l'oxygène qui coopère avec celui de l'air insufflé. Finalement, 1 kg de carbone à 8 080 calories donne 5,26 m³ de gaz pauvre à 1 361 calories renfermant 29,4 volumes d'oxyde de carbone et 17,6 d'hydrogène sur 100 volumes. Le rendement pourrait atteindre 88 p. 100.

Le rendement réel est évidemment moindre.

M. Emerson Dowson, qui a été l'initiateur et le metteur au point des gazogènes destinés à l'alimentation des moteurs à gaz, a communiqué à ses collègues de la *Cleveland Institution of Engineers* (¹) un certain nombre de résultats obtenus en Angleterre. Nous empruntons à cette étude fortement documentée les deux exemples ci-dessous.

Gazogène de 40 chevaux effectifs. Un kg d'anthracite et 180 gr de coke donnent 5,040 m³ de gaz à 0° et 760 mm de pression, ayant un pouvoir de 1 463 calories.

Pouvoir calorifique de l'anthracite	8 200 calories
— du coke	7 200 —
— du gaz	1 463 —
Chaleur du combustible : $8\,200 + 7\,200 \times 0{,}18 =$	9496
Chaleur du gaz : $1463 \times 5{,}04 =$	7376
Rendement thermique $= \frac{7376}{9496} =$	77,8 p. 100

Le gaz renfermait 6,3 volumes d'anhydride carbonique, 23,8 d'oxyde de carbone, 19,8 d'hydrogène et 1,3 de carbures divers.

Gazogène de 250 chevaux effectifs. Un kg d'anthracite et 140 gr de coke donnent 4,880 m³ de gaz à 0° et 760 mm de pression.

Le gaz avait un pouvoir de 1 552 calories, pour même anthracite et coke que ci-dessus.

Chaleur du combustible : $8\,200 + 7\,200 \times 0{,}14 =$	9208
Chaleur du gaz : $1552 \times 4{,}88 =$	7574
Rendement thermique $= \frac{7574}{9208} =$	82,2 p. 100

M. Dowson considère ce rendement comme un des meilleurs qu'on puisse espérer et réaliser; il correspond en effet à un rendement générique égal à $\frac{82{,}2}{88{,}0} = 0{,}934$, et nous n'en connaissons guère de plus beau. Dans la discussion soulevée à l'*Institution of Mechanical Engineers* en décembre 1900, à la suite de la communication très documentée de M. Herbert Humphrey (²), M. Dowson a mentionné divers rendements thermiques de 81,1, 80,7, 80,6 et 73,8. D'autre part, M. Jenkin n'a obtenu avec de l'anthracite ordinaire que 69 p. 100. Il est évident, en effet, que le rendement des gazogènes, comme celui des chaudières, peut et doit subir des variations considérables suivant la nature du combustible, l'allure du feu, la proportion relative d'air et de vapeur d'eau injectée dans la cuve, le débit du gaz, son degré d'épuration, etc., etc.

L'allure du feu, qui se règle par la proportion de vapeur d'eau injectée, est le facteur principal des grands rendements; mais cette proportion doit varier avec la quantité d'air et elle dépend de la qualité du charbon. Une fois déterminée, elle est facile à maintenir et,

(¹) Middlesbrough, 27 mars, 1890.

(²) *Power-gas and large Gas Engine for Central Stations.*

en dernière analyse, on demande moins d'initiative et de talent professionnel à un conducteur de gazogène qu'à un chauffeur de chaudière : cette considération a une importance sérieuse dans l'espèce et elle est à l'avantage du gazogène

Les puissants gazogènes que le Dr Mond a installés à Northwich, dans l'usine de produits chimiques de MM. Brunner-Mond et Cie, doivent leurs qualités à l'allure froide de leur fonctionnement, obtenue par l'injection d'un grand excès de vapeur d'eau dans la cuve (1); cette allure permet l'usage de charbons bitumineux, car elle les empêche de coller et de former des mâchefers et des scories fusibles ; de plus, les produits ammoniacaux ne sont plus décomposés et ils peuvent être recueillis, en majeure partie. Les appareils Mond sont, il est vrai, assez coûteux et fort encombrants, et ils supposent une production considérable de gaz ; mais le gaz engendré est de qualité uniforme et régulièrement bonne et la récupération faite en produits ammoniacaux abaisse grandement son prix de revient. Ces appareils donnent d'autre part des rendements élevés, ainsi qu'on peut en juger par l'essai ci-dessous, dont M. Humphrey a publié les données dans sa forte étude déjà citée sur les puissants groupes de gazogènes et de moteurs à gaz pauvres (2).

Composition du charbon employé :	
Humidité à 100°	8,60
Carbone	62,69
Matières volatiles	18,29
Cendres	10,42
	100,00
Pouvoir calorifique	6 786 calories.
Composition du gaz engendré :	
Anhydride carbonique	16,00
Oxyde de carbone	11,00
Hydrogène	29,00
Carbures	2,00
Azote	42,00
	100,00
Densité de ce gaz	0,788
Pouvoir calorifique du gaz sec (vapeur d'eau condensée à 18°)	1 414,3 calories
Production de gaz par kg de charbon	3,749 m³
Chaleur du gaz : 3,749 × 1414,3 =	5 302 calories
Chaleur du charbon	6 786 —
Rendement thermique	78,1 p. 100

En tenant compte du charbon retrouvé dans les cendres et les scories du gazogène, M. Humphrey a même évalué le rendement à 84 p. 100 : il a sans doute voulu indiquer ainsi le maximum d'effet utile de l'appareil.

Un autre essai fait à Winnington et poursuivi trois journées sans arrêt, a conduit à un rendement de 81 p. 100. Ces chiffres justifient la haute réputation acquise par les appareils Mond, dont la caractéristique est d'utiliser des qualités de charbons dont on n'avait pu jusqu'ici tirer aucun parti pour la production des gaz pauvres. Ainsi tombe la principale critique formulée contre les gazogènes, auxquels on reprochait d'exiger des anthracites de choix, soigneusement criblés et séparés des poussières. MM. Lencauchez, Pierson, Fichet, et Heurtey et Letombe avaient déjà victorieusement répondu à l'objection ; mais le Dr Mond ›

(1) *The Mond Gas Producer Plant and its application*, par M. Humphrey; publié dans les *Proceedings of th Institution of civil Engineers*, t. CXXIX, 1897.

(2) *Loc. cit.*, appendice I, table I.

qui n'a pas craint de compliquer singulièrement les appareils, paraît avoir trouvé la solution la plus complète du problème [1].

Le coke donne d'aussi bons résultats que l'anthracite quand il est employé rationnellement dans des gazogènes appropriés; tel est le cas de la station hydraulique de Bâle, pourvue de gazogènes du genre Dowson, construits et installés par les ateliers de Deutz. Les chiffres qui suivent ont été relevés par M. le professeur Meyer [2].

Section de la cuve du gazogène	42,25 dcm²
Hauteur de charge	1,35 m
Surface de chauffe de la chaudière	2,5 m²
Pouvoir calorifique du coke (vapeur d'eau condensée)	7 247 calories
Coke consommé par heure dans le gazogène	102,4 kg
— — dans la chaudière	11,2 —
Eau évaporée dans la chaudière	66,2 —
Pression de la vapeur	4,33 —
Température de la surchauffe	234°
Gaz pauvre engendré par kg de coke	4 740 litres
Pouvoir calorifique du gaz pauvre	1 254 calories
Calories du gaz	5 944 —
Rendement thermique $\frac{5944}{7247}$ =	0,82 p. 100

Les chiffres ci-dessus ont été relevés en cours d'essais, ayant une durée d'une dizaine d'heures pour le moins, mais durant lesquelles la consommation de gaz a été tenue aussi régulière que possible; le gazogène se trouve donc placé dans des conditions exceptionnelles, qui peuvent avoir sur le rendement une influence heureuse et très marquée.

En pratique, au contraire, le débit de gaz varie à tout instant, et le feu passe par des phases d'activité et de stagnation relatives qui se répercutent sur la qualité du gaz et sur les phénomènes de réduction opérés dans la cuve ; le rendement en souffre évidemment. Mais dans quelle mesure est-il réduit ? On ne peut le dire qu'à la suite d'essais soignés dans lesquels on fait passer le gaz à travers un compteur, en relevant simultanément toutes les données du travail.

Ces essais de gazogènes en marche industrielle sont rares, par suite même des difficultés qu'ils présentent et de la coûteuse mise en œuvre qu'ils nécessitent : j'ai eu la bonne fortune d'en pouvoir effectuer un à l'imprimerie Danel, de Loos, sur un gazogène Pierson, installé pour alimenter des moteurs Crossley et pourvoir à certains chauffages d'appareils. Les résultats obtenus dans ces conditions présentent le plus grand intérêt, parce qu'ils correspondent réellement à la pratique. En effet, le gazogène a été pris tel qu'il était à la suite de six mois de service continu, et rien n'a été modifié aux conditions de son emploi : il était servi par son conducteur habituel, qui gouvernait le feu comme il le faisait chaque jour. Les essais, poursuivis du samedi matin au lundi soir, ont porté sur deux journées de travail, séparées par un intervalle de 36 heures d'arrêt, durant lesquelles le feu a dû être entretenu. Tout le combustible a été pesé et le gaz mesuré au compteur ; le pouvoir calorifique du charbon a été déterminé à la bombe Malher et celui du gaz à l'aide de ma bombe eudiométrique.

Le charbon employé était de la braisette Lagrange d'Anzin, criblée à 55/80, bien sèche, renfermant 8 p. 100 de cendres et 9,20 de produits volatils; son pouvoir a été trouvé égal à 7 642 calories.

---

(1) Voir à ce sujet mon *Traité des moteurs à gaz*, t. III, p. 54.

(2) *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XXX, 1896.

Le coke donnait 7 300 calories.

La section de la cuve du gazogène était de 20 dcm²; la surface de chauffe de la chaudière à vapeur mesurait 2 m²; il n'y avait pas de surchauffeur de vapeur, ni de réchauffeur d'air [1].

Les chiffres ci-dessous sont relevés sur mon carnet d'expériences :

Samedi, 18 juin 1898 :

Durée de l'essai : de 7 heures matin à 6 heures soir, arrêts réglementaires compris	11 heures
Consommation de charbon au gazogène	186 kg
— de coke à la chaudière	41,5 —
Eau vaporisée	206 —
Pression moyenne de la vapeur	5,50 kg
Gaz au compteur	966 m³, 400 litres
Température du compteur	23°
Pression atmosphérique	765 mm
Volume de gaz à 0° et 760 mm	896 m³, 800 litres
Pouvoir calorifique du gaz (vapeur d'eau condensée)	1 208 calories

Période d'arrêt du 18 juin à 6 heures du soir au 20 juin à 7 heures du matin :

Consommation de charbon en 37 heures	84 kg

Lundi, 20 juin :

Durée de l'essai, de 7 heures du matin à 6 heures du soir, arrêts réglementaires compris	11 heures
Consommation de charbon au gazogène	204 kg
— de coke à la chaudière	35,5 —
Eau vaporisée	174 —
Pression moyenne de la vapeur	5,5 —
Gaz au compteur	955,000 m³
Température au compteur	20°
Pression atmosphérique	762 mm
Volume de gaz à 0° et 760 mm	892,000 m³
Pouvoir calorifique du gaz (vapeur d'eau condensée)	1 283 calories

Ces deux journées avaient été conduites à des allures différentes, en vue de déterminer les meilleures conditions économiques de fonctionnement : les résultats ont été également satisfaisants.

Première journée :

Calories du gaz		1 083 334
— du charbon	1 421 412	1 724 362
— du coke	302 950	
Rendement thermique		62,8 p. 100

Deuxième journée :

Calories du gaz		1 144 436
— du charbon	1 558 968	1 818 118
— du coke	259 150	
Rendement thermique		62,9 p. 100

Ces résultats *réels* sont ceux que donne une marche courante et continue, sans correction d'aucune sorte, en travail variable, les appareils fonctionnant suivant les besoins de l'industrie à pleine ou demi-charge, avec arrêts momentanés, accidentels ou réglementaires. La portée de nos constatations est considérable à cet égard. A noter que le gazogène a con-

---

[1] MM. Pierson ont depuis lors considérablement perfectionné les dispositions de leurs gazogènes, dont le rendement a encore été amélioré.

servé son feu durant 37 heures, en brûlant environ 2,25 kg de charbon par heure, et que le travail a pu être repris sans difficulté le lundi matin.

Nous sommes autorisés à conclure de ce qui précède que les gazogènes peuvent donner des rendements de 80, même de 84 p. 100, en régime d'essais, et qu'on a le droit de compter sur 62,9 p. 100 dans l'industrie, alors même que le gazogène est obligé de garder son feu durant 36 heures d'arrêt consécutives et que les conditions du travail imposent au générateur de gaz des allures diverses et incessamment variables.

2° Moteurs a gaz. — La théorie des moteurs à gaz n'est encore qu'à l'état d'ébauche, et il n'y a pas lieu de s'en étonner, puisque la machine à vapeur, qui est plus ancienne et d'une étude plus facile, n'est elle-même pas encore en possession d'une théorie incontestée.

En faisant certaines hypothèses de simplification, on obtient des formules peu compliquées qui se prêtent à la comparaison des divers types et facilitent leur étude : en essayant de serrer le problème de plus près, les données s'enchevêtrent et l'on perd en netteté ce que l'on a pu gagner en rigueur.

La théorie générique envisage d'ailleurs des cycles théoriques, que l'on ne réalise qu'imparfaitement : la théorie expérimentale, telle que Hirn l'a conçue pour la machine à vapeur, a un caractère plus réel, et elle fournit des conclusions plus pratiques. Mais il faut reconnaître que les expériences accumulées depuis 40 ans n'ont encore fourni que des données incomplètes et souvent contradictoires.

Le rendement thermique des moteurs dépend d'éléments si multiples et si divers que le nombre de leurs combinaisons est pour ainsi dire infini : quelle est celle qui conduit à la meilleure utilisation du calorique ? Nous avons essayé de le dire autrefois [1] et nous avons appelé l'attention des inventeurs sur l'action des parois, qui ne sont pas moins actives dans les moteurs à gaz que dans les machines à vapeur.

« Comprimez fort et détendez à fond » ; telle était la consigne et elle a été assez généralement suivie. L'emploi des mélanges riches et les marches rapides ont aussi été préconisées : d'autres ont indiqué des moyens différents, et de savantes discussions se sont élevées à ce sujet. L'expérience, qui est le grand maître dans l'espèce, a mis tout le monde d'accord, en démontrant qu'il n'y a rien d'absolu en ces questions et qu'il faut savoir faire un judicieux éclectisme des moyens à employer suivant les conditions de construction et de puissance des moteurs.

Nous trouvons à cet égard de fort curieuses indications dans le plus remarquable et le plus grand travail qui ait été entrepris sur les moteurs à gaz ; je veux parler des essais de la commission nommée à cet effet par l'*Institution of Mechanical Engineers* sous le nom de *Gas Engine Research Committee*. En opérant sur une machine de MM. Fielding et Platt de Gloucester, disposée de manière à permettre toute espèce de modifications et d'essais, la commission a reconnu que ce moteur donnait le rendement le plus élevé dans les conditions ci-dessous [2] :

Diamètre du cylindre 6 pouces =	152,4 mm
Course du piston 12 pouces =	0,3048 m
Volume de la chambre de compression, v	1,389 l
Volume de la cylindrée, V	5,522 l

[1] Cf. Etudes sur les moteurs à gaz tonnant, 1883, et Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole, dans ses trois éditions, 1886 à 1899.

[2] Second Report to the Gas Engine Research Committee, par M. le professeur Burstall, 18 octobre, 1901.

Rapport $\frac{v}{V} = 0,25$

Compression en kg par cm²	8,36
Tours par minute	200,5
Explosions par minute	93,7
Aspiration { Pression	0,95
Aspiration { Température	84°
Température de la compression	359°
Valeur de γ dans pv^γ = const	1,345
Pression explosive	11,85 kg
Température explosive	1094°
Pression de décharge	2,72 kg
Température de décharge	749°
Température de l'enveloppe	66°
Pression moyenne au diagramme	3,70 kg
Valeur de γ dans pv^γ = const	1,245
Travail indiqué en chevaux	4,06
— effectif —	2,81
Rendement organique	0,69
Volume de gaz par cylindrée, v'	0,403 l
— d'air — V'	4,31 l

Rapport $\frac{V'}{v'} = 10,7$

Pouvoir calorifique du gaz	4 978 calories
Consommation par cheval-heure indiqué	538 litres
— — effectif	807 —
Rendement thermique indiqué	23,1 p. 100
Calories rejetées à l'échappement par explosion	0,86
— cédées à la paroi	0,60
— perdues par rayonnement	0,06
— transformées dans la détente	2,02

Ce rendement est le meilleur des 35 consignés dans le rapport de M. Burstall ; il correspond à la plus forte compression et à la plus grande vitesse de régime des quatre séries d'essais décrites dans le mémoire du savant professeur. Il ne faut pas s'en étonner et nous nous y attendions, mais la loi n'est pas toujours aussi bien confirmée, nous le reconnaissons sans difficulté. Les fortes compressions doivent d'ailleurs être accompagnées d'une détente complète, sinon on perd par l'échappement ce qu'on a disputé à l'action des parois.

On obtient souvent des résultats très supérieurs à ceux que nous venons de mentionner. Il faut remarquer en effet que le moteur du comité anglais était une machine d'expérience, construite spécialement pour permettre les essais variés dont elle a été l'objet ; c'était de plus un petit moteur ; enfin les maîtres qui ont dirigé les opérations n'avaient en vue que d'obtenir des résultats comparatifs dont la mise en parallèle devait éclaircir les points obscurs de la théorie.

Les essais, dont nous consignons ci-après les résultats, permettent d'apprécier les consommations réduites auxquelles sont arrivées certaines machines.

Moteur Kœrting[1]

Diamètre du cylindre	175 mm
Course	0,340 m
Nombre de tours à la minute	221,2
Degré de compression = $\frac{\text{cylindrée}}{\text{chambre de compression}}$ =	6,41

[1] *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, t. XLIII, Berlin, 1901.

Pression de compression	10,7 kg
Travail effectif en chevaux	10,40
Température de l'eau à l'entrée de l'enveloppe	17°15
— à la sortie —	49°66
Consommation d'eau par heure	251,6 litres
Teneur du mélange tonnant en gaz	6,76 volumes
Température de la décharge	448°
Consommation de gaz par cheval-heure effectif	470 litres
Pouvoir calorifique du gaz (1)	4 900 calories
Rendement thermique effectif	27,6 p. 100
Chaleur emportée par l'eau	34,9 calories
Expérimentateur	Meyer
Durée de l'essai	60 minutes
Date	13 mai 1899

Moteur Crossley.

Diamètre du cylindre	406,4 mm
Course du piston	0,5 334 m
Nombre de tours par minute	210
Travail effectif	64 chevaux
Pouvoir calorifique du gaz de Manchester	5 700 calories
Consommation par cheval-heure effectif	414 litres
Rendement thermique en travail effectif	26,9
Rendement thermique en travail indiqué	31,6 p. 100
Rendement organique	0,85
Expérimentateur	C. Hopkinson
Durée de l'essai	une heure
Date	1er février 1898

Moteur Niel nouveau modèle.

Diamètre du cylindre	350 mm
Course du piston	0,480 m
Nombre de tours par minute	213,36
Travail indiqué	53,55 chevaux
— effectif	46,02 —
Rendement organique	0,859
Pouvoir calorifique du gaz	5 664 calories
Consommation de gaz par cheval-heure indiqué	364 litres
— — — effectif	439 —
Rendement thermique indiqué	29,6 p. 100
— effectif	25,5 —
Expérimentateurs	Moreau et Witz
Durée de l'essai	1 heure trois quarts
Date	10 novembre 1901

Moteur Forward.

Diamètre du cylindre	272 mm
Course du piston	0,511 m
Nombre de tours par minute	196
Travail effectif	38,7 chevaux
Pouvoir calorifique moyen du gaz (2)	5 219 calories
Consommation de gaz par cheval-heure effectif	496 litres
Rendement thermique effectif	24,5 p. 100
Expérimentateur	M. Mathot
Durée de l'essai	une heure
Date	10 janvier 1901

(1) Nous remplaçons le pouvoir inférieur donné dans le travail ci-dessus par le pouvoir tel que nous l'avons pris dans nos expériences.

(2) Pouvoir relevé au calorimètre Junkers, donc à pression constante, sans correction de condensation d'eau.

Moteur Charon à deux cylindres.

Diamètre des cylindres	380 mm
Course des pistons	0,600 m
Nombre de tours à la minute	153,22
Diamètre de la poulie de frein	1,792 m
Charge nette	157,5 kg
Travail effectif en chevaux	60,42
Consommation de gaz par cheval-heure effectif en m³ à 0° et 760 mm	407 litres
Pouvoir calorifique du gaz	5 842 calories
Chaleur du gaz consommé	2 378 —
Rendement thermique en travail effectif	26,7 p. 100
Expérimentateur	Witz
Durée de l'essai	2 h 30 m
Date	4 mars 1895

Le rendement organique n'ayant pas été demandé dans ces expériences, nous sommes obligés de l'apprécier d'après des exemples analogues ; si nous le prenons égal à 0,84, nous sommes conduits à un rendement thermique en travail indiqué égal à 31,75 p. 100.

Moteur Otto à deux cylindres.

Diamètre des cylindres	520 mm
Course des pistons	0,760 m
Nombre de tours par minute	137,74
Travail indiqué en chevaux	178,3
— effectif —	149,8
Rendement organique	0,84
Pouvoir calorifique du gaz	1 202 calories
Consommation de gaz par cheval-heure indiqué	2 721 litres
— — effectif	3 239 —
Rendement thermique indiqué	20 p. 100
— effectif	16,8 —
Expérimentateur	Meyer
Durée de l'essai	12 heures
Date	9 avril 1896

Cet essai a été fait en marche industrielle avec un gaz de coke très pauvre; il faut en tenir compte pour apprécier à leur juste valeur les résultats obtenus.

Moteur Crossley à deux cylindres.

Diamètre des cylindres	660 mm
Course des pistons	0,914 m
Nombre de tours par minute	148,5
Travail indiqué en chevaux	432,9
Pouvoir calorifique du gaz	1 423 calories
Consommation de gaz par cheval-heure indiqué	1 780 litres
Rendement thermique indiqué	25,5 p. 100
— effectif	21,2 —
Expérimentateur	Humphrey
Durée de l'essai	6 heures
Date	10 avril 1900

Nous ferons sur cet essai la même remarque que ci-dessus.

Moteur Premier à deux cylindres.

Diamètre des cylindres	714 mm.
Course des pistons	1,106 m
Nombre de tours par minute	128,05
Travail indiqué en chevaux	482,91

Pouvoir calorifique du gaz	1 433 calories
Consommation de gaz par cheval-heure indiqué	1 475 litres
— — effectif	1959 —
Rendement thermique indiqué	30, 4 p. 100
— effectif	22,87 —
Expérimentateur	Humphrey
Date de l'essai	7 décembre 1900
Durée	5 heures

Moteur Letombe triplex.

Diamètre des cylindres	600 mm
Diamètre de la tige reliant deux pistons	170 —
Course commune	0,800 m
Nombre de tours par minute	131,01
Travail effectif en chevaux	294,51
Pouvoir calorifique du gaz	1 357 calories
Consommation de gaz par cheval-heure effectif	2 145 litres
Rendement thermique effectif	21,8 p. 100
Expérimentateur	Witz.
Date de l'essai	21 décembre 1901

Dans ces essais, nous avons toujours pris le pouvoir calorifique supérieur, suivant notre habitude.

La caractéristique des essais dont nous venons de dire les résultats est l'indépendance relative des rendements thermiques constatés avec la puissance des moteurs et la richesse du gaz employé. Dès 10 chevaux, nous voyons en effet le moteur acquérir ses plus beaux rendements thermiques, et il s'adapte presqu'aussi bien au gaz de ville à 5 250 calories qu'au gaz pauvre à 1 300 : le fait devait être mis en lumière.

Comment le moteur fonctionnerait-il aux gaz plus pauvres encore des hauts fourneaux ?

On se le demandait avec curiosité, car on savait que ces gaz, dont le pouvoir moyen est de 981 calories, d'après nos multiples déterminations, peuvent tomber à 900, même à 870. Les heureux résultats obtenus à Wishaw, à Seraing, à Hœrde et ailleurs donnèrent toutes assurances aux promoteurs de l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux : l'essai du premier gros moteur Cockerill ne laissa plus aucun doute sur le succès.

Moteur Cockerill (Delamare-Deboutteville).

Diamètre du cylindre	800 mm
Course du piston	1,000 m
Diamètre du frein	1,546 m
Vitesse moyenne en tours par minute	105,20
Charge nette du frein	1 595,45 kg
Travail indiqué en chevaux	214,00
— effectif —	181,16
Rendement organique	0,85
Consommation de gaz de haut fourneau — par cheval-heure indiqué	2,830 m³
Consommation de gaz de haut fourneau — — effectif	3,329 m³
Pouvoir calorifique moyen du gaz	981 calories
Rendement thermique — en travail indiqué	22,9
Rendement thermique — — effectif	19,4
Expérimentateur	Witz
Durée de l'essai	24 heures
Date	19 juillet 1898

Depuis lors, le moteur de 1 300 mm de diamètre a fait constater à M. Hubert une consommation de 3 156 à 3 574 litres en gaz à 985 calories ; c'est un rendement de 18,44 à 20,46 en travail effectif.

En alimentant les moteurs d'air carburé par des essences de pétrole ou des huiles de densité supérieure, égale à 0,82, on obtient encore des résultats remarquables.

Au concours de Meaux, organisé par M. Ringelmann, en 1894, un petit moteur Niel de 4 chevaux a consommé, par cheval-heure effectif, 307 gr de pétrole ; le pouvoir de cette huile étant de 11 040 calories, on trouve un rendement thermique effectif de 20,5 p. 100, en défalquant de la consommation celle de la lampe d'allumage.

L'essai ci-dessous donne un résultat analogue :

Moteur Millot.

Diamètre du cylindre	185 mm
Course du piston	0,185 m
Nombre de tours par minute	324,19
Travail effectif	5,39 chevaux
Pétrole employé : oriflamme, de densité (à 12°)	0,81
Pouvoir calorifique par kg	11 038 calories
Pétrole consommé par cheval-heure effectif	339 gr
Rendement thermique effectif	17 p. 100
Expérimentateur	Witz
Durée de l'essai	3 heures
Date	15 mai 1900

Une particularité signale cet essai à l'attention des constructeurs ; la réfrigération du cylindre ayant été effectuée par le système Beaupré à vaporisation d'eau, donc à 100°, nous avons constaté au cours d'un essai prolongé une marche excellente et plus économique qu'à 45°.

Dans les moteurs à pétrole comme dans les moteurs à gaz, le secret de la réduction de consommation réside dans la compression. Le moteur Diesel en a donné une nouvelle preuve à ceux qui doutaient encore : en poussant la compression à 35 kg, ce qui n'avait jamais été fait jusque-là et semblait même impossible, le savant ingénieur a obtenu des rendements remarquables.

Moteur Diesel

Diamètre du cylindre		250 mm
Course du piston		0,3985
Nombre de tours à la minute		154,3 m
Travail indiqué en chevaux		24,77
— effectif —		17,82
Rendement organique		0,785
Consommation de pétrole	par cheval-heure indiqué	180 gr.
	— effectif	238 —
Pouvoir calorifique moyen du pétrole (1)		11 015 calories
Rendement thermique	en travail indiqué	30,9 p. 100
	— effectif	24,2 —
Expérimentateur		Schröter
Durée de l'essai		60 minutes
Date		17 février 1897

En employant du naphte brut de Russie, d'un pouvoir de 10000 calories environ, on a même réussi à abaisser la consommation à 223 gr par cheval-heure effectif : ce chiffre n'avait point encore été relevé avant l'apparition du moteur Diesel.

Mais il semblerait que M. Diesel ne détienne plus le record de consommation à deux

(1) M. Schröter a annoncé des rendements plus élevés (34,7 et 26,2) en considérant le pouvoir inférieur du pétrole, obtenu en retranchant les calories correspondantes à la condensation de l'eau de combustion.

grammes près, attendu que M. Banki, de Budapest, aurait obtenu une dépense de 221 gr dans un moteur de 25 chevaux; ce chiffre a été publié à la suite des essais de MM. Meyer et Jonas. C'est une injection d'eau, pratiquée dans le cylindre au moment de la compression, qui a permis à M. Banki de donner à cette compression une valeur de 13 kg à laquelle est dû son succès non moins qu'à la détente de la vapeur formée et à l'utilisation de son calorique.

Les résultats d'essais, que nous venons de réunir et de rapprocher en vue d'une utile comparaison, établissent sur une base indiscutable le mérite des moteurs à gaz tonnant.

Les rendements indiqués de 30,6 p. 100 et effectifs de 27 p. 100 ne sont pas ordinaires, il faut le reconnaître, et dans l'industrie on se déclarerait souvent satisfait à moins. Les cahiers des charges stipulent en effet des consommations mensuelles d'au plus 700 litres par cheval-heure effectif à 5250 calories; cela correspond à un rendement thermique effectif de 17,3 p. 100; or, ce résultat est atteint couramment et il est fort souvent dépassé. A remarquer qu'un si beau rendement industriel s'obtient par des installations qui ne présentent aucune disposition spéciale, avec des moteurs de 8 chevaux, ne travaillant en moyenne qu'aux trois quarts de leur charge. Le fait devait être signalé, car il est important.

3° Gazogènes et moteurs. — En accouplant un gazogène au rendement thermique de 84 p. 100 avec un moteur rendant en travail indiqué 31,6 p. 100 et en travail effectif 27, on réaliserait donc un rendement total de $0,84 \times 0,316 = 0,265$ dans le premier cas, et de $0,84 \times 0,27 = 0,22$ dans le second.

Employant par suite un charbon possédant un pouvoir de 8200 calories, la dépense par cheval-heure indiqué serait de 292 gr; elle s'élèverait à 352 gr par cheval-heure effectif.

Comme les rendements qui servent de base à ce calcul sont réels, nos résultats le sont aussi et on doit les rencontrer en pratique.

De fait, il arrive assez rarement que les meilleures conditions du fonctionnement du gazogène coïncident avec les meilleures conditions du fonctionnement du moteur, ainsi que nous l'avons supposé. D'autre part, un pouvoir de 8200 calories n'est pas commun pour un charbon brut, sans déduction d'aucune sorte.

Enfin, il peut se produire quelques pertes de charge et autres entre le gazogène et le cylindre du moteur.

Bref : un essai conduisant à 300 gr de charbon par cheval-heure indiqué serait particulièrement heureux.

Mais on en approche beaucoup, ainsi que nous allons le prouver.

Un moteur Stockport de 75 chevaux a consommé 385 gr (cendres et déchets de tous genres compris), par cheval-heure indiqué, dans des essais à pleine charge qui ont duré dix heures [1].

M. Humphrey cite dans le travail auquel nous avons déjà fait quelques emprunts [2] un moteur Crossley de 60 chevaux alimenté par un appareil Mond qui a consommé 420 gr par cheval-heure indiqué; le charbon avait un pouvoir de 7900 calories quand il était pris à l'état sec. Il faut donc admettre que cette consommation a été estimée en charbon sec.

Dans les mêmes conditions d'installation, le moteur Crossley de 400 chevaux a consommé 390 gr et un moteur Premier de 500 chevaux environ 325 gr [3]. Nous calculons ces chiffres

(1) Voir *Traité théorique et pratique des moteurs à gaz et à pétrole*, t. III, p. 191.

(2) *Loc. cit.*, appendice VI, p. 87.

(3) *Loc. cit.*, appendice V, et table 5.

d'après la dépense de gaz relevée en pieds cubes, en l'estimant à 160 pieds cubes, soit à 4530 litres par kilogramme de charbon, proportion donnée par M. Humphrey.

M. Mathot, ayant essayé à Bruxelles un moteur Stockport avec gazogène Dowson de 53 chevaux, a déclaré une consommation de 456 gr d'anthracite de Charleroi à 6 p. 100 de cendre par cheval-heure effectif : cela conduit à 383 gr par cheval-heure indiqué.

En coke de gaz, les résultats sont encore remarquables, et nous citerons pour en témoigner, le bel essai fait à l'usine hydraulique de Bâle, par M. Meyer. Le coke avait un pouvoir de 7338 calories au kilogramme ; or, le cheval-heure effectif a été obtenu par 631 gr et le cheval-heure en eau montée n'a coûté que 861 gr. C'est un résultat obtenu en marche industrielle.

Aux tramways de Cassel (Nord) nous avons été chargé de faire la réception officielle d'une installation de moteurs Crossley avec gazogènes Pierson ; à la suite d'une épreuve de six heures consécutives en exploitation courante, comportant des variations de travail incessantes et considérables, nous avons obtenu les résultats suivants, en faisant marcher deux moteurs.

Travail indiqué	Moteur A		32,40 chevaux
	Moteur B		27,68 —
Travail indiqué total			60,08 chevaux
Admissions	Moteur A	68,31 sur	82,19
	Moteur B	63,25 sur	83,21
Consommation en 6 heures	Braisette Lagrange		145 kg
	Menus		57 —
	Total		202 kg
Par cheval-heure indiqué			560 gr

Le charbon était pris sec, mais nous n'avons opéré aucune réduction pour les cendres et les escarbilles ; une partie de ces dernières était pourtant réutilisable.

En longue période de marche industrielle, les résultats sont encore du même ordre.

A l'usine des tramways de Lausanne, montée de moteurs Crossley et de gazogènes Fichet et Heurtey, qu'on alimentait de charbon anthraciteux de Charleroi ou d'Anzin, M. Palaz a relevé, du 7 septembre au 6 décembre 1896, les résultats suivants.

Combustible consumé	117 746 kg
Kilowatts-heure produits	131 328 —
Consommation moyenne par kilowatt-heure	882 gr
— par cheval-heure effectif	577 —

M. Meyer a publié les consommations de la station centrale de Zurich, où sont mis en service un moteur Otto de 120 chevaux, deux autres de 60 et un petit de 14 chevaux ; durant l'année 1898, on y a employé de l'anthracite belge de la fosse Bonne-Espérance, à Herstal, coûtant 39,7 fr la tonne ; la dépense rapportée au kilowatt-heure a été de 900 gr de ce combustible. Comme dans l'exemple ci-dessus, on n'a fait aucune correction relative aux périodes d'arrêt des moteurs, durant laquelle les feux dormaient sans utilisation.

MM. Pierson ont installé à l'usine des glacières de Paris, située à la Briche, près de Saint-Denis, un moteur Crossley à deux cylindres alimenté de gaz pauvre, fourni par un gazogène Pierson ; ce groupe est en service vingt-trois heures par jour ; il actionne un compresseur à ammoniaque, une pompe élévatoire et une dynamo, et le travail moyen développé est de 150 chevaux. Or la consommation du moteur, évaluée d'après les entrées du combustible dans l'usine, ressort à 565 gr de charbon brut, sans aucune réduction d'aucune sorte, par

cheval-heure effectif : la cuve du gazogène est chargée de braisette Lagrange d'Anzin, criblée à 55/80.

Les charbons de toutes provenances fournissent de bons rendements. La station centrale de Tarrasa, en Catalogne, est actionnée par trois moteurs Crossley de 25 chevaux, qui reçoivent le gaz fourni par un gazogène Dowson, alimenté d'anthracite de la province de Léon et de coke ; on dépense 994 gr par kilowatt-heure disponible au tableau de la station, d'après M. Prats, professeur à l'école industrielle de Barcelone.

M. Letombe a pu employer dans son gazogène du charbon maigre des Alpes renfermant 55,42 p. 100 de carbone fixe et volatil et 44,58 de cendres.

En charbon anthraciteux ordinaire, les constructeurs garantissent aux stations centrales le kilowatt-heure à un kilogramme et ils tiennent d'ordinaire largement leurs promesses, alors même que l'on conserve toujours les gazogènes en service, même pendant la nuit, comme on le fait à Lausanne, au témoignage de M. Palaz, et qu'on a toujours un gazogène de rechange allumé et prêt à donner du gaz au premier signal ; c'est ainsi qu'a été calculée la consommation de 882 gr signalée plus haut, en comptant en bloc les kilogs de charbon entrés à l'usine et les kilowatts enregistrés au compteur, sans réduction d'aucune espèce.

Conclusions. — Elles seront brèves et précises, puisqu'elles reposent sur des chiffres qu'il est aisé de comparer ; elles n'auront pas besoin d'être commentées longuement, attendu que ces chiffres renferment tous les éléments de la question telle que nous l'avons posée.

A nos lecteurs de voir et de juger.

Le rendement thermique du gazogène est légèrement supérieur à celui de la chaudière ; le rendement du moteur à gaz dépasse de beaucoup celui de la machine à vapeur. La consommation de charbon par cheval-heure indiqué des moindres installations de gazogènes et moteurs est loin d'égaler celle des plus importants groupes de chaudières et machines avec surchauffe.

Considérant que, pour des machines thermiques ayant pour objet de produire du travail par la transformation de la chaleur, la base de comparaison la plus rationnelle et la plus sûre repose sur la mise en parallèle des taux de transformation des calories en kilogrammètres, nous devons reconnaître que les appareils à vapeur sont mis en échec par les appareils à gaz.

Ces conclusions sont d'ordre exclusivement technique.

Nous laissons de côté, provisoirement, des considérations d'ordre commercial relatives au prix du combustible, aux conditions de son emploi, à l'élasticité et à la sécurité des appareils, et aux avantages spéciaux qu'ils peuvent présenter.

Aimé Witz.

NOUVEAU CONVERTISSEUR UNIVERSEL

DE M. MAURICE LEBLANC

Fonctionnement. — En exposant le principe de l'appareil au début de cette étude, nous avons supposé, pour fixer les idées, que le problème à résoudre était celui de la transformation de courants polyphasés en courants continus ; mais pour montrer que la réversibilité de l'appareil est parfaite, nous allons étudier le mécanisme de son fonctionnement en traitant le problème réciproque, c'est-à-dire la transformation de courants continus en courants alternatifs.

Il y a deux cas à considérer : celui où l'appareil ne doit débiter que des courants polyphasés et celui où il doit débiter du courant monophasé. Nous traiterons d'abord le premier cas parce qu'il est le plus simple et qu'il ne nécessite aucun appareil accessoire.

Premier cas. — *Transformation de courants continus basse tension en courants polyphasés haute tension.* — Après avoir excité les inducteurs du moteur des balais, on met l'appareil en mouvement au moyen d'une manivelle « ad hoc » agissant provisoirement à l'extrémité de l'arbre. Le montage est fait de telle sorte que l'arbre repousse de lui-même la manivelle lorsque l'appareil a atteint une certaine vitesse.

Sous la seule action de la force centrifuge, les frotteurs en charbon, libres dans leurs alvéoles, viennent s'appliquer contre le collecteur.

Dans notre appareil le contact est assuré à la vitesse d'un tour par seconde.

Le circuit du courant continu se trouve alors fermé par les frotteurs, les lames du collecteur et les bobines à gros fil du transformateur circulaire.

On envoie alors du courant continu dans l'appareil à travers un rhéostat de démarrage. Ce courant crée dans le transformateur un champ qui tourne avec la vitesse même des balais et dans le même sens. Si les circuits compensateurs n'existaient pas, ce champ ne saurait être sinusoïdal.

En effet, dans le cas où les circuits à haute tension sont ouverts, le champ tournant unique est la résultante de flux identiques, mais décalés l'un sur l'autre de la quantité $\frac{1}{2K} \times \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{2K\alpha}$ la période commune étant égale à $\frac{1}{\alpha}$, en désignant par α la fréquence qui correspond à la vitesse de rotation imprimée au système (fig. 8).

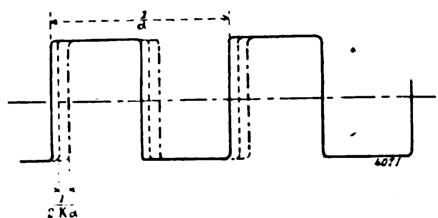


Fig. 8.

Dans le cas où les circuits à haute tension sont fermés, le courant parcourant les bobines primaires engendre un flux de forme quelconque qui se superpose au flux dû au courant continu pour donner une résultante dont la forme nous est également inconnue.

Par contre, dans l'un ou l'autre cas, l'action des circuits compensateurs — qui formeront ici le véritable courant de magnétisation du transformateur — « rectifie », si nous pouvons employer ce terme, la résultante de forme complexe pour la ramener à la forme sinusoïdale. Ceci découle des propriétés mêmes des circuits compensateurs, puisque tous les flux nuisibles qui entrent dans la composition du flux résultant développent instantanément dans les bobines compensatrices des flux de réaction qui en détruisent l'effet. En d'autres termes, le système compensateur combiné avec l'un ou l'autre des circuits primaire ou secondaire, constitue dans l'appareil une sorte de transformateur auxiliaire que nous

(¹) Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 janvier 1901, p. 29.

pourrions appeler « transformateur-rectificateur », et auquel nous pourrons demander encore d'autres services.

Le seul champ tournant à deux branches développe, par sa rotation même, dans les circuits résultants du système compensateur des courants alternatifs biphasés de forme sinusoïdale et à basse tension, qui alimentent l'armature du moteur des balais.

Quant au champ créé par les circuits d'armature, il tournerait dans l'espace, si l'armature était immobile, avec une vitesse qui est le sous-multiple $\frac{1}{p}$ de la fréquence α, fréquence qui est elle-même le multiple p de la vitesse de rotation des balais. Mais comme le collecteur et le moteur sont construits avec le même nombre de pôles — nombre qui détermine le sous-multiple $\frac{1}{p}$ de la fréquence — il s'ensuit que le champ dans l'armature du moteur ne peut tourner qu'avec la vitesse de rotation des balais.

Remarquons maintenant que l'armature, étant clavetée sur l'arbre même qui commande les frotteurs, participe, dès l'origine, au mouvement de rotation qui entraîne ces derniers.

Donc, d'une part, l'armature tourne dans le même sens que les balais avec la vitesse absolue $+\frac{\alpha}{p}$, d'autre part son champ tourne en sens contraire des balais avec la vitesse relative $-\frac{\alpha}{p}$; la vitesse absolue du champ est donc nulle, c'est-à-dire qu'il est fixe dans l'espace.

La direction de ce champ fait, avec celle du champ inducteur, un angle θ qui dépend de l'intensité et de la phase du mouvement du flux tournant dans le transformateur.

Notre moteur synchrone se trouve donc « accroché » et il continuera à tourner « en entraînant les frotteurs » tant qu'on alimentera ces derniers avec du courant continu.

On sait que dans une réceptrice à courant continu la vitesse augmente jusqu'à ce que la force contre-électromotrice développée dans l'armature fasse équilibre à la différence de potentiel aux bornes (abstraction faite de la force contre-électromotrice due à la réaction d'induit et de la perte de charge due à sa résistance ohmique).

Il en est de même dans notre appareil qui comporte tous les éléments d'une réceptrice à courants continus, bien que le collecteur, l'armature et le système inducteur soient séparés.

En effet, sous l'augmentation d'une différence de potentiel entre les lignes de balais de polarités opposées, l'intensité du champ tournant dû au courant continu s'accroît dans le transformateur fixe. Il en est de même des courants biphasés dans les circuits résultants et par suite du champ d'armature dans le moteur synchrone. Donc le couple moteur augmente et la vitesse de tout le système rotatif s'accélère. Mais alors la force contre-électromotrice de l'armature d'une part, l'augmentation du couple résistant d'autre part, agissent instantanément comme deux freins pour empêcher le moteur de s'emballer. En résumé, la vitesse comme dans un moteur shunt croît avec l'augmentation du voltage aux bornes.

Ainsi, d'une part, pour augmenter la force contre-électromotrice, on peut agir sur le rhéostat d'excitation du moteur ; on obtient ainsi un freinage énergique. D'autre part, il faut remarquer que l'effort résistant dû à la pression des balais dans le collecteur est proportionnel au carré de la vitesse, puisque cette pression est due à la force centrifuge. Dans ces conditions, l'appareil prend automatiquement la vitesse de régime correspondant à la différence de potentiel fournie aux bornes.

On est donc absolument maître de cette vitesse.

C'est un point très important si l'on veut accoupler l'appareil sur un réseau, puisque la fréquence, que l'on doit pouvoir régler d'une manière absolue, est un multiple de la vitesse du système rotatif.

Le champ tournant « rectifié », créé dans le transformateur fixe, engendre par sa rotation même des courants alternatifs à haute tension dans l'anneau Gramme à fil fin. Si les prises de courant sont au nombre de quatre, disposées aux extrémités de deux diamètres rectangulaires, on recueillera dans deux circuits extérieurs des courants alternatifs biphasés. Si elles sont au nombre de trois, disposées à 120°, on recueillera des courants triphasés.

D'une manière générale, on pourra recueillir des courants polyphasés à n phases, en disposant $2n$ prises de courants régulièrement décalées d'un angle $\frac{2\pi}{2n}$ sur la circonférence de l'anneau à haute tension.

Supposons qu'on envoie, dans des circuits distincts, des courants alternatifs biphasés à haute tension obtenus comme il vient d'être dit. A mesure que la demande d'énergie s'accentue dans les circuits secondaires, c'est-à-dire dans les circuits d'utilisation, l'intensité du courant doit augmenter dans les bobines primaires, c'est-à-dire dans notre cas, l'intensité du courant continu alimentant l'appareil. Pour permettre à ce courant de passer des balais au collecteur sans qu'il y ait production d'étincelles, il faudrait disposer de l'angle de calage comme on le fait dans les réceptrices à courant continu. Remarquons que, dans ces dernières, on obtiendrait également le résultat voulu si, au lieu d'agir sur les balais, l'on faisait tourner le système inducteur d'un même angle autour de l'armature.

C'est à ce dernier moyen que M. Leblanc a eu recours, dans son appareil, puisqu'il ne pouvait agir directement sur les balais tournants.

Dans le moteur des balais, en effet, nous avons vu que l'angle θ formé par la direction du champ inducteur et celle du champ d'armature dépend de l'intensité et de la phase du champ tournant dans le transformateur. Cet angle peut donc être considéré comme le véritable angle de calage de l'appareil. C'est pour pouvoir régler son amplitude que l'appareil porte le dispositif de déplacement du système inducteur que nous avons précédemment décrit.

Quant aux oscillations qui peuvent se produire dans la direction du champ de l'armature, oscillations qu'il faut éviter pour un bon fonctionnement de l'appareil, puisqu'elles tendent à rompre le synchronisme, elles sont instantanément maîtrisées par les champs intenses qu'elles développent dans l'amortisseur synchroniseur fixe dans l'espace.

L'efficacité de cet organe est d'ailleurs telle que nous avons pu passer sans étincelles de zéro à la pleine charge et inversement, « sans toucher au dispositif de calage », lorsque les variations du régime ont été progressives.

2e cas. — *Transformation de courants continus basse tension en courant alternatif monophasé haute tension.* — Dans ce cas, on n'utilise que deux prises de courants disposées aux extrémités d'un même diamètre sur l'anneau Gramme à fil fin du transformateur.

Le circuit à haute tension étant fermé, le champ fixe dans l'espace, dû au courant monophasé, peut se décomposer (théorème de Leblanc) en deux champs d'intensité constante, tournant l'un à droite, l'autre à gauche, avec la vitesse α. Celui qui tourne dans le même sens que les balais est un flux utile qui entre comme « composant » dans le champ résultant du transformateur. Si nous supposons que l'autre champ tournant est détruit par un procédé quelconque, nous retombons dans le premier cas et le fonctionnement de l'appareil est identique.

Il faut annihiler le flux nuisible, parce que sa rotation développerait dans les bobines du circuit à gros fil des forces contre-électromotrices de fréquence 2α qui détruiraient les frotteurs et les touches du collecteur et rendraient impossible la marche de l'appareil.

Nous avons vu que les circuits compensateurs ne peuvent pas s'opposer au développement du flux à deux branches — c'est le plus important — entrant dans la composition du champ nuisible. Il faut donc le détruire par un autre moyen. Pour cela, M. Leblanc adjoint au transformateur-redresseur un moteur synchrone à courants biphasés dont l'inducteur est muni d'un amortisseur synchroniseur et qui peut être installé dans un endroit quelconque, parce que sa connexion avec le panchahuteur est purement électrique.

Les circuits d'armature du moteur synchrone séparé sont alimentés par les circuits résultants ; ils sont donc montés en parallèle avec ceux du moteur des balais.

Les deux moteurs étant en marche et tournant synchroniquement, les circuits d'armatures des moteurs se trouvent montés en opposition avec les circuits résultants du transformateur ; ils devront être les sièges des mêmes variations de flux ; en d'autres termes, ils sont absolument solidaires, comme s'ils étaient enroulés sur la même carcasse magnétique. Toute action exercée dans

les uns provoque instantanément une réaction égale et de sens opposé qui prend naissance dans les autres.

Ne pouvant pas annihiler directement le champ tournant nuisible dans le transformateur, nous allons le détruire par une réaction dûe au moteur séparé.

En effet, les flux dûs à la réaction d'induit du moteur séparé sont de trois sortes :

1° Deux flux à deux branches également importants ; l'un fixe dans l'espace, puisqu'il tourne dans le même sens que le flux utile du transformateur, c'est-à-dire en sens inverse de l'armature — c'est le flux du couple moteur ; — l'autre tournant dans l'espace dans le même sens que l'armature avec une vitesse double de celle-ci — c'est le plus important des flux nuisibles ;

2° Des flux tournants de haute fréquence qui coupent l'amortisseur et qui sont instantanément détruits par la réaction de celui-ci ;

3° Des flux tournants qui se ferment dans l'entrefer sans couper l'amortisseur et qui constituent les fuites magnétiques de son armature.

Le flux nuisible de la première catégorie, qui tourne dans le même sens que l'armature et qui, par conséquent, ne peut pas être fixe par rapport à l'écran amortisseur, serait entièrement détruit par la réaction de ce dernier, s'il n'y avait pas de fuites magnétiques. Ce serait le résultat idéal. Mais les lignes de force de ce champ, qui se ferment à travers l'entrefer sans couper l'écran, rentrent dans la troisième catégorie des flux de réaction d'induit. Elles constituent le plus important des flux nuisibles non détruits par le moteur synchrone, et leur action se ferait sentir sur le collecteur si elles avaient une importance suffisante. Il y a donc intérêt à réduire au minimum la dispersion magnétique de l'armature, mais dans la pratique cette dispersion est toujours assez faible pour que son action soit négligeable sur le collecteur.

Le moteur synchrone a un autre rôle lorsque le panchahuteur doit débiter sur un réseau doué de self-induction. On lui demande alors de fournir les courants déwattés nécessaires au réseau, en même temps que le courant d'excitation du transformateur.

Le rôle du moteur synchrone, dans l'utilisation ou la création d'un courant alternatif monophasé, peut encore s'expliquer par les considérations suivantes.

Le débit d'énergie dû à un courant continu est constant. La même remarque s'applique à l'énergie fournie par des courants bi ou triphasés. Quand l'appareil reçoit l'énergie sous la première forme pour la restituer (abstraction faite des pertes) sous la seconde ou réciproquement, il n'est donc pas nécessaire de lui adjoindre un régulateur de travail instantané.

Par contre, le débit d'énergie d'un courant monophasé est essentiellement oscillatoire. L'action du courant continu dans l'appareil étant uniforme et la réaction dûe au courant monophasé ne l'étant pas, il faut disposer d'un organe jouant le rôle d'un tampon élastique, c'est-à-dire formant ressort entre la puissance et la résistance.

En mécanique, la transformation d'un mouvement rectiligne alternatif en mouvement circulaire continu est un problème du même ordre qu'on résout par l'emploi du volant.

En électricité, la transformation d'un courant monophasé en courant continu est rendue possible par l'emploi d'un volant régulateur électrique où l'énergie est emmagasinée, puis restituée sous forme de puissance vive par l'armature du moteur synchrone complémentaire.

Mais cette régulation ne pouvant s'obtenir que par l'absorption du flux nuisible, qui entre dans la composition du champ dû à un courant alternatif monophasé, entraîne forcément une diminution de puissance et de rendement du système.

L'énergie perdue est dissipée par effet Joule dans l'amortisseur du moteur synchrone et dans les circuits du transformateur.

Expériences. — Les résultats obtenus jusqu'ici avec le nouvel appareil ont largement réalisé toutes les espérances qu'avait conçues son inventeur. De plus, la combinaison du convertisseur avec un moteur synchrone mécaniquement indépendant, constitue un ensemble d'une élasticité remarquable et dont les applications peuvent être extrêmement variées comme le démontrent les expériences que nous relatons ci-après.

Nous ne parlerons que des essais faits officiellement devant l'inventeur et quelques invités, dans le laboratoire de la Compagnie Hélios, à Cologne-Ehrenfeld.

Le programme comportait 3 séries d'épreuves :

Transformation de courants triphasés, haute tension, en courant continu, basse tension.

Transformation de courant continu en courants biphasés, haute tension, et en énergie mécanique, utilisé par des courants biphasés à basse tension.

Transformation de courant continu en courants alternatifs, haute tension, biphasés ou monophasé.

I. — La génératrice de l'usine nous donnait des courants alternatifs triphasés de 2000 à 2260 volts. La tension normale d'alimentation de notre panchahuteur devait être de 3000 volts aux bornes ; nous avons donc dû élever la tension de 2000 volts à 3000 volts par un groupement convenable de transformateurs.

HEURES des observations.	COURANT CONTINU		OBSERVATIONS
	Tension.	Débit.	
Heures.	Volts.	Ampères.	
10 30	110	450	La tension triphasée aux bornes du primaire du panchahuteur a varié de 2900 volts à 3350 volts.
10 37	110	680	
10 45	108	800	
10 50	110	800	On a pu faire débiter à l'appareil un courant continu variable de 0 à 700 ampères sans toucher au dispositif de calage.
11	95	780	
11 05	100	900	
11 08	102	900	
	110	900	La commutation est absolument parfaite.
11 10	110	1 000	
	112	1 010	A 1 000 ampères, la commutation est encore convenable, mais l'échauffement des circuits et des connexions ne permet plus d'augmenter la charge.
11 15	112	1 020	
11 20	—	Arrêt.	

II. — Nous nous servons du moteur comme génératrice de courants biphasés à 220 volts.

Commande par une machine à vapeur compound à échappement à l'air libre.

1° *Alimentation du panchahuteur exclusivement par ses circuits compensateurs avec les courants biphasés de la génératrice.* — Les bornes de haute tension du panchahuteur sont branchées sur les primaires de deux transformateurs monophasés, dont les secondaires alimentent les lampes à incandescence en série avec des résistances métalliques. Le rapport normal de transformation est $\frac{2\,000 \text{ volts}}{110 \text{ volts}} = 18{,}2$.

Le panchahuteur débite *en même temps* du courant continu.

HEURES des observations.	TENSION d'alimentation de l'appareil.	ÉNERGIE RECUEILLIE						OBSERVATIONS
		En courants alternatifs biphasés.				En courant continu.		
		Tension primaire.	Tension secondaire	Débit.		Tension.	Débit.	
				Phase I.	Phase II.			
Heures.	Volts.	Volts.	Volts.	Ampères.	Ampères.	Volts.	Ampères.	
3 05	228	3 500	198	135	135	126	0	Biphasés seulement.
3 25	220	3 660	200	75	75	122	100	Biphasés et continu.
3 32	222	3 600	197	75	0	122	100	Monophasé et continu.
3 35	221	3 600	197	150	0	122	100	» »
3 38	221	3 550	195	150	0	122	200	» »
3 42	222	3 450	190	75	75	117		Biphasés seulement.

2° *Alimentations simultanées du panchahuteur avec les courants biphasés à basse tension du moteur tournant en génératrice et avec des courants continus.* — On recueillait alors exclusivement des courants biphasés puis monophasé à haute tension.

Aucune mesure n'a été prise pendant cette épreuve, mais la marche de l'appareil ne laisse rien à désirer.

3° *Alimentation exclusive du panchahuteur avec des courants continus.* — On recueille des courants alternatifs monophasé ou biphasés et de l'énergie mécanique *en même temps.*

HEURES des observations	ÉNERGIE RECUEILLIE					ALIMENTATION en courant continu		OBSERVATIONS
	TENSION des circuits résultants	EN COURANTS ALTERNATIFS BIPHASÉS						
		TENSION primaire	TENSION secondaire	DÉBIT		TENSION	DÉBIT	
				Phase I	Phase II			
Heures	Volts			Ampères	Ampères	Volts	Ampères	
3 55	222	»	»	75	75	120	»	biphasés h. et b. tension.
4	222	3 650	200	45	45	113	200	— —
4 10	221	3 500	192	37	0	120	300	monophasé haute tension et biphasés basse tension.

On ferme la valve d'admission de la machine à vapeur, dès ce moment la génératrice de courants alternatifs biphasés à 220 volts redevient moteur et conduit la machine à vapeur.

Le travail mécanique absorbé est alors environ 22 kilowatts.

III. — *Alimentation exclusive du panchahuteur avec des courants continus à basse tension.* — On recueille des courants alternatifs monophasés ou biphasés, à haute tension.

Le moteur synchrone, toujours branché sur les circuits résultants, tourne à vide.

Les courants alternatifs à haute tension (3 500 volts) sont envoyés dans deux transformateurs auxiliaires monophasés pour permettre l'utilisation de l'énergie recueillie, sur des circuits d'éclairage. On étudie la marche de l'appareil avec un déséquilibrage quelconque des deux ponts.

HEURES des observations	ALIMENTATION		ÉNERGIE RECUEILLIE				OBSERVATIONS
	Volts	Ampères	TENSION primaire	TENSION secondaire	DÉBIT		
					Phase I	Phase II	
Heures			Volts	Volts	Ampères	Ampères	
5	—	—	3 500	192	100	100	Charges égales sur les deux ponts
5 05	—	—	3 540	194	50	50	— —
5 55	—	—	3 100	170	110	110	— —
6	—	—	3 560	196	120	0	Première phase seule chargée
6 05	120	—	—	—	0	150	Deuxième phase seule chargée
6 10	—	—	—	—	0	160	— — —
6 20	124	410	3 660	202	0	170	— — —

Le programme était trop chargé pour permettre de faire des mesures de rendement. Elles seront faites incessamment.

Conclusions. — Il résulte nettement des expériences que le système permet toutes les applications suivantes :

1° Le convertisseur employé seul peut tranformer des courants alternatifs polyphasés en cou-

rants continus ou réciproquement des courants continus en courants polyphasés lorsque le cos φ du réseau est égal à 1.

2° Le système « convertisseur et moteur » peut transformer des courants alternatifs monophasé ou polyphasés en courants continus ou réciproquement, lorsque le cos φ du réseau est plus petit que 1.

La charge sur les ponts peut être quelconque, puisque le courant monophasé correspond au déséquilibrage limite.

Le moteur synchrone peut être considéré comme un moteur à courant continu à collecteur séparé.

Etant mécaniquement indépendant du convertisseur, il peut être monté dans un endroit quelconque, mines, puits, etc., et ne nécessite aucune surveillance.

En résumé :

a. Le convertisseur alimenté exclusivement avec du courant continu à basse tension peut fournir, *en même temps*, de l'énergie mécanique disponible sur la poulie du moteur et de l'énergie électrique sous forme de courants alternatifs à haute tension.

b. Réciproquement, l'alimentation exclusive avec des courants alternatifs à haute tension permet d'obtenir du système de l'énergie mécanique, et de l'énergie électrique sous forme de courants continus à basse tension.

c. Si l'on n'a en vue que la production d'énergie mécanique, le convertisseur peut être alimenté simultanément par des courants alternatifs à haute tension et des courants continus à basse tension.

d. Si l'on alimente l'appareil exclusivement par ses circuits résultants avec des courants fournis par le moteur travaillant en génératrice, le convertisseur devient lui-même une double génératrice pouvant débiter alternativement ou simultanément du courant continu à basse tension et des courants alternatifs à haute tension.

Nous noterons d'une façon toute particulière que dans le nouveau convertisseur, l'échauffement seul détermine la puissance limite de l'appareil et que la commutation est encore parfaite lorsque cette limite est atteinte.

Enfin le nouveau transformateur-redresseur présente un avantage précieux au point de vue de la distribution d'énergie par courants alternatifs. Comme il ne peut engendrer que des forces électromotrices pratiquement sinusoïdales — puisque la première harmonique pouvant se développer est, dans notre cas, la 59e — le phénomène de résonance qui amène la destruction des meilleurs isolants ne sera pas à redouter lorsqu'on montera l'appareil sur des réseaux doués de capacité et en particulier sur ceux équipés avec des câbles concentriques.

C'est la première fois, à notre connaissance, que la disposition d'un collecteur fixe avec balais tournants et contact dû à la force centrifuge, a été appliquée.

Elle permet des simplifications mécaniques importantes ; les organes en mouvement étant légers, le moteur n'a à fournir qu'un faible travail. Quant au porte-balais, il ne saurait être plus simple, puisqu'il ne comporte ni vis de pression, ni ressorts, ni dispositif de relevage, et que la force centrifuge agit seule et d'une manière parfaite sur des charbons libres.

Sans insister davantage sur les nombreuses applications et sur les qualités du nouveau convertisseur, nous remarquerons en terminant que des résultats aussi brillants et aussi complets ont été obtenus, sans tâtonnements, *sur le premier appareil construit*. Le fait est assez rare pour retenir l'attention.

C'est la meilleure preuve de l'excellence du système et de l'exactitude des théories et des principes sur lesquels M. Leblanc a construit son nouveau panchahuteur.

A. Vincent.

COMPARAISON DES DÉPENSES ET DES RECETTES DES TRAMWAYS

A TRACTION PAR CABLE, PAR TROLET SOUTERRAIN ET PAR CHEVAL, A NEW-YORK

Chaque année la Metropolitan Street Railway Company, de New-York, publie dans le *Street Railway Journal* un tableau très détaillé de ses recettes et de ses dépenses d'exploitation. Depuis 1897, époque à laquelle cette Compagnie a commencé la substitution de la traction électrique par trôlet souterrain à la traction animale, ce tableau offre l'intérêt de permettre de comparer les résultats fournis par ces deux modes de traction ainsi que par la traction funiculaire, adoptée par la Compagnie depuis 1893 sur quelques-unes de ses lignes. Aussi n'avons-nous pas manqué de reproduire les tableaux, convertis en mesures françaises, relatifs aux exercices finissant le 30 juin 1898(1) et le 30 juin 1899 (2); nous avons omis à dessein la reproduction de celui relatif à l'exercice 1899-1900, nous bornant à en signaler les points principaux (3), dans l'intention de donner en une seule fois les résultats de cet exercice et ceux de l'exercice 1900-1901. C'est ce que nous faisons, p. 64 et 65.

Il résultait des chiffres publiés antérieurement que la traction électrique par trôlet souterrain est non seulement plus économique que la traction animale, ce qui paraissait évident *a priori*, mais encore plus économique que la traction funiculaire, ce qui était, à l'époque, contraire aux idées admises, au moins en ce qui concerne l'exploitation des lignes à très grand trafic. Aussi la Metropolitan Street Railway Company a-t-elle peu à peu transformé ses lignes funiculaires en lignes électriques et en juin 1901 la transformation était complète. Pour cette raison les chiffres des colonnes 2 et 4 de l'exercice 1900-1901 ne s'étendent pas à l'année entière.

Si nous considérons le nombre de kilomètres-voitures du réseau entier ; nous observons que, contrairement à ce qui s'était produit pendant les trois exercices de 1897 à 1900, ce nombre est en décroissance pour l'exercice 1900-1901 d'environ 15 p. 100. Cela tient à ce que les voitures à chevaux qui ne contenaient que 16 à 20 voyageurs et les voitures funiculaires qui en contenaient 28, ont été remplacées par des voitures électriques offrant un plus grand nombre de places ; de plus, beaucoup des premières voitures électriques qui ne pouvaient contenir que 30 voyageurs ont été remplacées par des voitures à 50 places assises. En somme bien que le nombre de kilomètres-voitures ait été diminué, le nombre des places offertes au public a augmenté. Mais il convient de remarquer que malgré cette diminution des kilomètres-voitures, la dépense moyenne par kilomètre-voiture a néanmoins augmenté (0,1 centime environ) et que la recette totale des voyageurs a diminué de près de 1 million. Ce fait nous paraît nettement indiquer que les compagnies exploitantes ont rarement intérêt à diminuer les départs en prenant des voitures plus spacieuses et qu'en général elles causent ainsi au public une gène qui se traduit par une diminution de recettes. La comparaison des recettes des lignes à traction électrique et des lignes funiculaires conduit à la même conclusion : l'augmentation des recettes des premières est inférieure à la diminution des recettes des secondes.

Nous bornant maintenant aux chiffres relatifs à la traction électrique, nous constatons,

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 356, 26 nov, 1898.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 265, 18 nov. 1899.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. CXIX, 31 août 1901,

par le tableau ci-joint et ceux antérieurement publiés que les frais d'entretien des voies a passé de 1,023 centime par kilomètre-voiture en 1898, à 2,748 centimes en 1901, augmentation naturelle et qui ne peut que s'accentuer par la suite. Les frais d'entretien de l'équipement ont subi une progression semblable (2,573 centimes en 1898 et 4,60 centimes en 1901); toutefois la comparaison des deux derniers exercices paraît indiquer que l'on est arrivé au chiffre normal. Dans le chapitre des frais relatifs à la puissance motrice, nous trouvons des dépenses de renouvellement de chevaux et de fourrages qui s'expliquent, comme nous l'avons dit antérieurement, par ce fait que quelques embranchements des lignes électriques sont desservis par des tramways à chevaux jouant le rôle de rabatteurs. Dans le même chapitre, nous observons entre 1900 et 1901 une diminution sensible de la dépense afférente à la direction, la main d'œuvre et la consommation de charbon; cette diminution provient de la mise en exploitation de la grande usine de 70 000 chevaux; toutefois à cause de la hausse du charbon pendant les deux exercices considérés, la diminution n'est pas aussi importante que celle qu'on aurait pu attendre et, si l'on se reporte aux tableaux antérieurement publiés on trouve une augmentation réelle par rapport à l'exercice 1897-1898. Les dépenses relatives au transport ont aussi légèrement diminué de 1900 à 1901; elles restent cependant supérieures à celle de 1897-1898. Les frais généraux ont, par contre, augmenté dans une assez large mesure par suite de l'augmentation des accidents et des dommages qui en ont résulté.

En définitive, les frais totaux d'exploitation ont augmenté de 0,125 centime par kilomètre-voiture de l'un à l'autre des deux derniers exercices, malgré la diminution du nombre de kilomètres-voitures et les économies réalisées dans la production de la puissance motrice. L'augmentation est heureusement très peu importante, et comme elle est de beaucoup inférieure à celle des dommages résultant d'accidents (1,55 centime par kilomètre-voiture), il est à présumer que, les conducteurs étant plus expérimentés, les frais totaux d'exploitation seront plus faibles pour l'exercice courant que pour les précédents.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Sur la théorie de la commutation, par **Karl Pichelmayer,** de Vienne. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 967, 21 novembre 1901.

Il résulte des travaux de Girault, Fischer-Hinnen et Arnold, que la condition principale de la marche sans étincelles est l'inégalité

$$\frac{R_1 T}{L} > 1, \qquad (1)$$

dans laquelle R_1 désigne la résistance de contact des balais et du collecteur, T la durée du court-circuit et L le coefficient de self-induction de la bobine en court-circuit.

Si on désigne par E_s la force électromotrice moyenne de self-induction de la bobine pendant le temps T, E_r la perte en volts à un balai, J le courant dans un conducteur avant et après la commutation, n le nombre de spires de la bobine et φ le flux magnétique du champ de self-induction pour un ampère-tour, on a

$$L = n^2 \varphi \, 10^{-8},$$

$$E_s = \frac{2}{T} LJ, \qquad (2)$$

quelle que soit la forme de la courbe de courant pendant le court-circuit.

La perte en volts au balai est

$$E_r = 2JR_1,$$

ce qui transforme l'égalité (1) de la façon sui-

		TRACTION FUNICULAIRE				TR
		Pour l'ensemble, en francs.		Par voiture-kilom., en centimes.		Pour l
		1900	1901	1900	1901	1900
	Recettes brutes (voyageurs)	18 493 360	15 887 550	108,93	113,46	40 625 5
	Dépenses d'exploitation	9 423 615	8 134 780	55,50	58,09	16 432 7
	Bénéfices	9 069 745	7 752 770	53,43	55,37	24 192 8
	DÉTAIL DES DÉPENSES D'EXPLOITATION					
	Entretien des voies.					
1	Réparations des voies ; main-d'œuvre	188 150	107 750	1,09	0,78	288 9
2	— éclisses, matériaux	50 555	15 245	0,028	0,009	44 3
3	— rails	175	250	—	—	1 3
4	— aiguilles, boulons, écrous	73 330	68 070	0,43	0,500	99 9
5	— attaches, traverses	375	165	—	—	3 5
6	Réparation des parties aériennes et souterraines	442 910	404 145	2,625	2,968	177 4
7	— et remplacement des câbles	1 314 960	1 180 870	7,75	8,437	—
8	— des appareils de nettoyage des conduites	56 080	47 840	0,343	0,312	218 5
9	— des graisseurs	210 540	186 130	1,25	1,312	—
10	— des poulies, épissures	101 985	94 650	0,593	0,687	—
11	— des bâtiments	51 750	24 740	0,312	0,018	82 5
12	Enlèvement de la glace et de la neige et nettoyage des rues	74 840	60 300	0,43	0,40	99 6
	Totaux	2 565 650	2 190 155	14,851	15,419	1 016 2
	Entretien de l'équipement.					
13	Réparation des voitures	317 015	231 870	1,87	1,65	989 3
14	— des câbles ou de l'équipement électrique	181 740	164 460	1,06	1,18	767 4
17	— des instruments et moteurs	5 265	5 125	—	0,03	10 0
	Totaux	504 020	401 455	2,93	2,86	1 766 8
	Puissance motrice.					
15	Réparation de l'usine à vapeur	117 790	76 900	0,687	0,562	645
16	— de l'usine électrique ou à câble	51 815	60 665	0,312	0,437	40
18	— des harnais	550	2 385	—	—	7
19	Fournitures diverses	—	570	—	—	4
20	Renouvellement des chevaux	—	255	—	—	—
21	Ferrures des chevaux	805	1 680	—	—	20
22	Dépenses de fourrages	19 665	22 060	0,125	0,155	100
23	Gages des palefreniers	1 655	1 775	—	—	12
24	Enlèvement du fumier	350	310	—	—	
27	Valets d'écurie, épisseurs et aides	17 520	14 330	0,093	0,093	90
28	Ingénieurs, pompiers et employés des usines	299 480	274 935	1,781	1,968	503
32	Charbon pour les usines	532 120	531 415	3,125	3,812	1 353
33	Eclairage et fournitures diverses pour les usines	89 835	89 145	0,531	0,625	96
34	Dépenses d'eau	107 040	92 555	0,624	0,656	187
	Totaux	1 238 625	1 168 980	7,278	8,308	2 480
	Transport.					
25	Conducteurs et receveurs	3 308 010	2 759 090	19,500	19,718	7 213
26	Inspecteurs, aiguilleurs, etc.	689 950	565 805	4,062	4,031	1 114
29	Dépôts des voitures, veilleurs, nettoyeurs, graisseurs	195 885	170 220	1,156	1,218	683
30	Eclairage des voitures	193 210	183 000	1,125	1,312	25
31	Graissage des voitures et dépenses diverses	57 165	53 000	0,343	0,374	161
	Totaux	4 444 220	3 731 115	26,186	26,653	9 198
	Frais généraux.					
35	Salaires et appointements	127 915	110 035	0,750	0,781	267
36-40	Contentieux, accidents	296 765	334 450	1,750	2,385	898
41-48	Autres frais généraux	246 755	199 190	1,468	1,437	911
	Totaux	677 435	643 675	3,968	4,603	2 077
	Totaux des dépenses d'exploitation	9 423 615	8 134 780	55,500	58,093	16 432
	Nombre de kilomètres-voitures	16 976 145	14 001 540	—	—	39 949

…tion électrique			Traction animale				Totaux			
…emble, francs.	Par voiture-kilomètre, en centimes		Pour l'ensemble, en francs.		Par voiture-kilomètre, en centimes.		Pour l'ensemble, en francs.		Par voiture-kilomètre, en centimes.	
1901	1900	1901	1900	1901	1900	1901	1900	1901	1900	1901
45 618 565	101,68	105,43	12 658 110	9 465 340	80,625	70,93	71 777 030	70 971 455	98,86	100,53
18 327 655	41,12	42,25	9 313 830	8 003 470	59,312	59,96	35 170 165	34 465 910	48,40	48,80
27 290 910	60,56	63,16	3 344 280	1 461 870	21,312	10,96	36 606 865	36 505 545	50,45	51,73
331 940	0,718	0,750	314 050	202 960	2	1,593	791 100	643 650	1,09	0,90
67 255	0,090	0,156	130 425	79 500	0,81	0,625	225 325	162 000	0,312	0,28
3 125	—	—	4 595	5 885	—	—	6 100	8 760	—	—
142 055	0,250	0,343	22 915	41 315	0,12	0,312	196 160	251 440	0,250	0,34
2 300	—	—	8 585	5 115	0,06	—	12 470	7 580	—	—
263 855	0,43	0,625	—	—	—	—	620 390	668 000	0,843	0,93
—	—	—	—	—	—	—	1 314 960	1 180 870	1,812	1,68
230 440	0,56	0,531	—	—	—	—	274 635	278 280	0,375	0,40
80	—	—	—	—	—	—	210 540	186 115	0,312	0,25
50	—	—	—	—	—	—	101 985	94 700	0,156	0,12
110 465	0,21	0,250	118 295	81 775	0,34	0,625	252 625	216 980	0,343	0,31
37 095	0,25	0,093	50 795	19 340	0,75	0,125	222 110	116 735	0,312	0,15
1 189 660	2,508	2,748	649 660	435 890	4,08	3,281	4 228 400	3 815 110	5,807	5,36
1 107 140	2,468	2,56	286 225	259 810	1,843	1,937	1 592 605	1 598 815	2,218	2,281
1 225 150	1,937	1,84	—	1 480	—	—	949 195	1 391 090	1,312	1,969
2 315	—	—	1 330	3 455	—	—	16 630	10 895	—	—
2 334 605	4,405	4,40	287 555	264 745	1,843	1,937	2 558 430	3 000 800	3,530	4,250
101 990	0,156	0,250	—	2 965	—	—	182 310	181 855	0,250	0,250
24 820	0,125	0,062	—	1 485	—	—	91 880	86 970	0,125	0,093
7 640	—	—	76 490	72 905	0,468	0,562	84 340	82 930	0,125	0,125
4 045	—	—	42 775	38 055	0,251	0,251	46 815	42 675	0,062	0,062
5 060	—	—	135 000	157 755	0,843	1,187	135 000	163 070	0,187	0,218
19 680	0,067	0,031	265 955	226 310	1,687	1,687	286 950	247 670	0,374	0,343
71 460	0,250	0,156	1 785 645	1 681 230	11,375	12,593	1 905 905	1 774 750	2,625	2,500
9 340	0,031	—	121 465	117 645	0,780	0,875	135 575	128 760	0,187	0,187
495	—	—	32 630	22 760	0,218	0,156	32 210	22 570	0,031	0,031
81 980	0,250	0,187	1 114 370	913 295	7,093	6,843	1 222 580	1 009 605	1,687	1,437
401 465	1,250	0,937	—	—	—	—	802 510	676 400	1,093	0,968
1 528 100	3,375	3,061	—	1 965	—	—	1 885 340	1 861 480	2,656	2,625
144 295	0,250	0,343	—	715	—	—	186 610	234 155	0,250	0,343
201 705	0,468	0,468	34 115	35 580	0,218	0,281	328 345	329 840	0,437	0,468
2 402 075	6,222	5,515	3 608 445	3 272 665	22,952	24,435	7 336 370	6 842 730	10,089	9,650
7 671 815	18,094	17,750	3 479 295	2 957 815	22,188	22,157	14 000 685	13 388 715	19,312	18,969
927 625	2,531	2,125	325 360	249 270	2,094	1,875	2 029 480	1 742 695	2,781	2,437
655 870	1,687	1,531	175 145	149 990	1,125	1,125	1 054 645	986 080	1,437	1,401
55 760	0,062	0,093	43 335	38 355	0,218	0,280	262 270	267 115	0,343	0,374
184 310	0,406	0,437	19 245	21 680	0,125	0,156	238 060	258 990	0,340	0,374
9 495 380	22,780	21,936	4 042 380	3 417 110	25,750	25,593	17 585 140	16 643 595	24,213	23,555
275 820	0,65	0,62	107 895	90 070	0,688	0,688	503 120	475 925	0,687	0,687
1 631 070	2,25	3,80	191 960	150 170	1,218	1,125	1 387 490	2 115 640	1,906	3
1 000 045	2,28	2,30	435 120	372 825	2,781	2,781	1 593 430	1 572 100	2,187	2,218
2 906 935	5,18	6,72	734 975	613 065	4,687	4,594	3 484 040	4 163 665	4,780	5,905
18 327 655	41,125	42,25	9 313 830	8 003 470	59,312	59,968	35 170 165	34 465 910	48,406	48,802
11 456 064	—	—	15 699 250	13 339 768	—	—	72 624 508	70 597 361	—	—

vante :

$$E_s < E_v, \qquad (3)$$

d'où l'énoncé :

La force électromotrice moyenne de self-induction doit être plus petite que la perte en volts aux balais, due à la résistance de contact.

Cette loi, d'après l'auteur, n'est valable que pour le cas où la largeur des balais est égale à l'épaisseur d'une lame du collecteur, et où, par suite, il n'y a jamais plus d'une bobine en court-circuit à la même ligne de balais.

Dans le cas où plusieurs bobines sont court-circuitées à la fois, il faut ajouter à la valeur E_s, la force électro-motrice E d'induction mutuelle de la bobine considérée et des autres bobines en court-circuit en même temps, E_g pouvant être souvent plus grand que E_s.

Dans leur ouvrage « Electric Generators », Parshall et Hobart ont donné, pour la première fois, un mode pratique de calcul de la « tension de réactance », E_r, suivant la formule :

$$E_r = 2\pi \frac{1}{2T} JL, \qquad (4)$$

où L désigne le coefficient d'induction propre et mutuelle.

Cette valeur est une valeur maximum, calculée d'après l'hypothèse d'une variation sinusoïdale du courant : l'auteur trouve plus exact de prendre la valeur moyenne, soit $\frac{1}{2\pi}$ de la précédente, ce qui conduit à la valeur exprimée par l'équation (2). De plus, Parshall et Hobart admettent [1] que l'induction mutuelle de deux barres de l'armature est égale à l'induction propre d'une barre, alors que l'auteur, dans de nombreux essais, a trouvé pour l'induction mutuelle des valeurs variant entre 30 et 60 p. 100 de l'induction propre. On peut modifier le calcul de la tension de réactance d'après ces principes.

Soient A_1 le nombre des ampères-tours de la bobine considérée, A_2 celui des autres bobines en court-circuit, A le nombre d'ampère-tours par cm, on a pour le nombre total A_c des ampère-tours des spires commutées, ou le *volume du courant commuté :*

$$A_c = A_1 + A_2 = b'A,$$

où b' désigne la largeur des balais ramenée à la périphérie de l'induit.

Si on désigne par kzA_2, la fraction du champ des bobines A_2 qui traverse la bobine considérée, on a évidemment :

$$E_s + E_g = \frac{2}{T} nzA_1 10^{-8} + \frac{2}{T} nkzA_2 10^{-8}$$
$$= \frac{2}{T} zn (A_1 + kA_2) 10^{-8}$$

ou

$$E_s + E_g = \frac{2}{T} zn [kb'A + nJ(1 - k)] 10^{-8}. \qquad (5)$$

Dans le deuxième exemple, cité par Parshall et Hobart, p. 178 de leur ouvrage « Electric Generators », où les constantes sont

$n = 2$; $J = 91$ A; $b'A = 1073$ At; $z = 180$, $T = 0{,}001$ sec.,

si on admet $k = 0{,}4$, on a :

$$E_s + E_g = 9{,}1 \text{ V},$$

d'après Parshall;

$$E_s + E_g = 3{,}9 \text{ V},$$

d'après l'auteur en appliquant la formule (5).

A. Mauduit.

Accumulateurs pour automobiles, par **A. Bainville**. *L'Electricien*, t. XXIII, p. 6, 4 janvier 1902.

Dans cet article l'auteur donne, d'après *Electrical World and Engineer*, les renseignements suivants sur quelques types d'accumulateurs pour automobiles employés aux Etats-Unis.

Batteries Sperry. — Les plaques de ces batteries appartiennent au type mixte, c'est-à-dire qu'elles sont constituées par des supports en plomb pur enduits de matière active ; ces supports se formant ultérieurement pourront conserver dans une certaine mesure la capacité de la batterie si la matière active qui les recouvre vient à tomber accidentellement par l'usage.

La grille de la plaque Sperry consiste en une feuille mince de plomb pur laminé qui est gaufrée mécaniquement de façon à former une série

(1) Voir *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 868. Une analyse en sera publiée très prochainement dans *L'Éclairage Électrique*.

de saillies symétriquement disposées. Dans le fond de chacune de ces saillies, on fait une ouverture de forme triangulaire à l'aide d'un poinçon qui rejette les bavures à l'intérieur ou à l'extérieur des saillies. La grille terminée a l'aspect d'une râpe.

Sur la grille ainsi préparée on étend une poudre spéciale en quantité suffisante pour noyer complètement les saillies du support après que la plaque aura été soumise à une pression d'environ 70 kg. cm². Au sortir de la presse, la plaque est dure, la matière rapportée sur la grille étant énergiquement retenue par les rugosités et par les bavures qui se sont aplaties et noyées dans la poudre sous l'influence de la pression.

La matière active étendue sur la grille est formée d'un mélange intime de 80 à 85 p. 100 de plomb finement divisé obtenu par la réduction des chlorure de plomb et de zinc avec 15 à 20 p. 100 d'oxyde de plomb. On ajoute à ce mélange 1,25 p. 100 de sel alcalin. Ce dernier corps, qui est inerte par lui-même, a pour but d'augmenter la porosité de la plaque en se dissolvant pendant la formation et aussi de lui donner une plus grande dureté.

Les plaques ainsi préparées sont placées dans une enveloppe obtenue en transformant une grosse toile en cellulose, nitrée par les procédés ordinaires, puis en rendant cette cellulose inexplosible par l'addition d'une petite quantité de nitro-benzol. Cette enveloppe est ensuite recouverte d'une couche de cellulose pure, sous forme de pâte façonnée de manière que la surface extérieure présente une série de côtes verticales ; ce façonnage a pour but de faciliter la circulation de l'électrolyte.

La séparation des plaques est obtenue à l'aide de feuilles minces d'ébonite perforées et ondulées.

Les bacs en ébonite portent dans leur fond une série de rainures que l'on remplit avec des bandes de caoutchouc ; c'est sur ces bandes élastiques, qui servent à amortir les chocs violents, que viennent reposer les plaques.

Voici quelques données sur une batterie d'automobiles composée de quarante-quatre éléments pesant chacun 10,420 kg, soit environ 457 kg pour la batterie. Au régime de décharge en 5 heures 15 minutes, cette batterie fournit 20 amp-h ou 18 w-h environ par kg de poids total, ce qui représente environ 18,2 kg par cheval-heure. Au régime de décharge en 3 heures on a 17,6 amp-h ou environ 33 w-h par kg de poids total et la puissance est de 11,1 watts pour le même poids.

Les constructeurs prétendent qu'une voiture, munie d'une de leurs batteries, a pu parcourir environ 12 000 km, soit à peu près 200 décharges, avec une baisse de capacité d'environ 28 p. 100. Ces chiffres pourraient nous renseigner si nous connaissions la capacité de la batterie, son poids et celui de la voiture ; on a malheureusement omis de nous donner ces chiffres.

Batteries Clare de l'International Storage Battery Company. — Les plaques de ces batteries sont à oxydes rapportés. Elles présentent une grande analogie de construction avec celles de la batterie Hathaway décrites dans cette revue, lors du concours d'accumulateurs organisé par l'Automobile-Club de France, en 1899 [1]. Ces plaques sont formées de galettes de matière active (oxyde de plomb) maintenues dans des plaques en terre poreuse de 1,5 mm d'épaisseur environ. Ces plaques comportent, sur la face en contact avec la matière active, deux séries de rainures à angle droit formant cent petites cellules, tandis que l'autre face est rainée dans une seule direction. Chaque électrode est constituée par deux plaques poreuses semblables, garnies de matière active, qui sont accolées l'une contre l'autre avec interposition d'une feuille de plomb de 0,8 mm environ, destinée à leur amener le courant. Les deux plaques poreuses qui constituent une électrode sont soudées ensemble à l'aide d'un ciment spécial inattaquable par l'électrolyte.

Les plaques unitaires ont toujours les mêmes dimensions et quand on a besoin de plaques plus grandes, on réunit plusieurs plaques semblables en les soudant au ciment.

Un élément de ce type, pesant 7,260 kg aurait, au régime de 12 ampères, une capacité de 96 amp-h avec une variation de la différence de potentiel aux bornes comprise entre 2,1 et 1,9 volts. Cet élément fournirait donc 26,5 w-h par kilogramme de poids total et pourrait sans inconvénient supporter des régimes élevés de décharge.

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 339, 3 mars 1900.

Batteries Perret. — Les plaques de ces batteries sont constituées par l'assemblage de tiges élémentaires soudées en nombre convenable sur une barre de connexion. Les tiges unitaires sont formées de baguettes rectangulaires de plomb pur formées par le procédé de Planté.

Les plaques positives et négatives sont identiques.

Un élément de ce type du poids de 3,400 kg a fourni 50 amp-h environ pour une décharge en 5 heures. L'élément de 100 amp-h au même régime pèse 6,800 kg.

Batteries Gould. — Les plaques de ces batteries sont en plomb pur laminé. Pour augmenter leur surface, on les passe sous une machine spéciale qui produit une série de côtes et de rainures. La surface active d'une plaque ainsi façonnée est environ dix-sept fois égale à sa surface apparente. Ce façonnage a, en outre, pour résultat, d'écrouir le plomb.

La formation se fait dans un bain de composition spéciale, après quoi les plaques sont lavées pour faire disparaître toute trace de la solution.

Les constructeurs de ce type de batterie se sont attachés surtout à réduire les régimes spécifiques de charge et de décharge de leurs éléments, de façon à augmenter leur durée. Leurs plaques sont, paraît-il, aussi légères que le permettent les considérations mécaniques. La surface active est de 64 dm^2 environ par kg. Au régime de décharge en 8 heures, on a 16 dm^2 par ampère.

Les plaques sont séparées et isolées entre elles par des feuilles d'ébonite moulée et perforée ; les bacs sont aussi en ébonite ; ils portent au fond des saillies triangulaires sur lesquelles reposent les plaques.

La plaque pour batteries automobiles a environ 15×22 cm^2.

Au régime de décharge en 3 heures, ces batteries fournissent 7,3 amp-h par kg d'élément. Le tableau suivant fournit des renseignements sur les principaux types pour traction.

Nombre de plaques	5	7	9	11	13	15	5	7	9	11	13	15
Régime normal de charge ; ampères	18	27	36	45	54	63	22,5	33,75	45	56,25	65	78,75
Décharge en 4 h., ampères	17	25	33	41	49	57,5	22,5	33,75	45	56,25	65	78,75
Capacité en ampères-heure en 3 h	60	90	120	150	180	210	81	121,5	162	202,5	243	283,5
Capacité en ampères-heure en 4 h	68	100	132	164	196	230	90	135	180	225	270	315
Poids des plaques en kg	7,150	10,200	13,700	16,500	19,5	22	6,250	9,300	12,200	15,400	18,400	21,500
Dimensions du bac en cm — Largeur	6,350	8,300	10,8	13,50	16	18,5	6,35	8,30	10,80	13,50	16	18,50
Dimensions du bac en cm — Longueur	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Dimensions du bac en cm — Hauteur	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Poids de l'acide en kg	1,475	2,050	2,500	2,950	3,500	4	1,820	2,400	3,250	4	4,750	5,600
» l'élément complet en kg	9,200	12,900	16,800	20,300	23,250	27	8,650	11,250	16,100	20	24,250	28,500

Plaques d'accumulateurs Geoffroy et Delore. — Brevet français n° 306 897 du 15 avril 1901.

Les plaques sont constituées par un assemblage de lamelles laminées ou estampées qu'on peut faire très minces lorsqu'on désire une grande capacité. Ces lamelles peuvent être disposées verticalement et horizontalement et sont munies de trous permettant l'enfilage sur des tiges *b* (fig. 1) en plomb et en ébonite. Entre les lames, on vient interposer un fil de plomb ou d'ébonite *c* qui entoure les tiges et assure l'écartement nécessaire à la circulation du liquide et au dégagement des gaz. Après assemblage de toutes les lamelles, il ne reste plus qu'à couler du plomb en *e* pour effectuer la soudure. Au lieu de prendre un fil de séparation, on peut aussi constituer les lamelles de façon à ce qu'elles portent des nervures en *b* qui renforcent ces points faibles et de plus, sur toute leur surface, de petites saillies obtenues par repoussage et que, dans l'enfilage, on s'arrange à faire

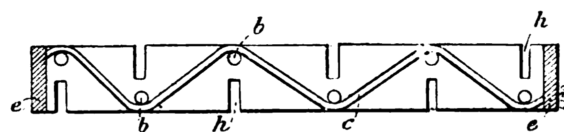


Fig. 1.

reposer sur le plat de la lamelle suivante. On a aménagé dans les lames des saillies *h* afin de faciliter la libre dilatation.

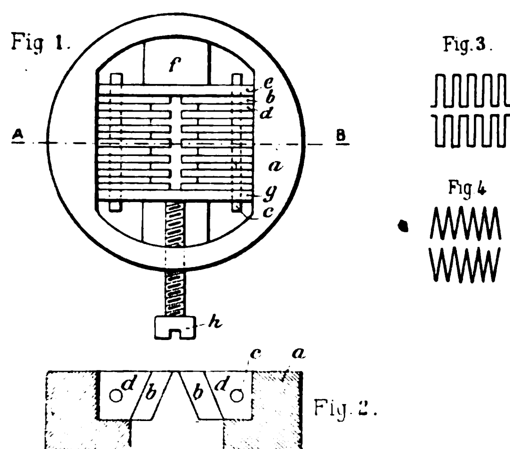
Les plaques ainsi fabriquées sont formées en Planté. Elles sont plus solides que les plaques coulées et n'exigent pas de moules spéciaux pour

chaque grandeur, puisqu'il suffit de découper des bandes de longueur voulue.

Système de fabrication des plaques d'accumulateur d'Arsonval et Vaugeois. — Brevet français n° 306 638 du 29 mars 1901.

Pour la fabrication des plaques Planté, on a eu recours jusqu'ici, soit à la fonderie, soit au labourage, de plaques fondues ou laminées à l'aide d'un outil en forme de soc de charrue.

Le premier procédé donne des surfaces relativement faibles et un plomb peu dense contenant des soufflures qui hâtent la désagrégation. Le deuxième procédé donne de grandes surfaces, mais il fatigue le plomb par arrachement et écrouissage à froid qui le rend peu homogène et, par suite, facilement formable.



Le nouveau procédé breveté ici doit donner des plaques exemptes de soufflures, très denses et ayant des surfaces aussi développées qu'il est nécessaire ; c'est ainsi qu'on peut arriver à des épaisseurs de nervures n'ayant que quelques dixièmes de millimètre.

Il consiste à employer du plomb convenablement chauffé, sans toutefois l'amener à son point de fusion et, à l'aide d'une pression élevée, de le forcer à passer dans des filières spéciales composées, en principe, de deux peignes dont les dents sont en regard. Chaque peigne est constitué soit par des lamelles minces enfilées sur une tige et espacées par interposition de lamelles plus petites ; soit par des vis à filet profond, triangulaire ou carré.

La figure 1 représente la disposition adoptée ; la figure 2 est une coupe par AB.

a est le cadre ; *b* sont des lamelles minces en acier ou autre métal qu'on enfile sur les tiges *c*. Des lamelles plus petites *d* maintiennent l'écartement. Le serrage est obtenu à l'aide des joues *e* et *g*, de la cale *f* et de la vis de serrage *h*. Avec ce dispositif, on obtient des plaques ayant le profil donné par la figure 4. Pour produire sur la plaque des parties sans ailettes ou munies de nervures, il suffit de disposer dans la filière des pleins ou des parties évidées ayant l'épaisseur désirée.

Un autre système de filière comprend deux pas de vis en regard. Avec le pas triangulaire, on obtient le profil représenté en figure 4. Pour constituer les plaques, on soude ensemble les petites plaques ainsi obtenues.

J. JUMAU.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Entraînement des machines-outils. Perfectionnement de l'Union Elektrizitæts-Gesellschaft de Berlin. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 214, 15 juillet 1901.

Le dispositif de l'U. E. G. de Berlin s'applique aux machines-outils dans lesquelles il y a, outre le mouvement de rotation, un mouvement de glissement, telles sont les perceuses employées pour le travail des métaux ou des pierres.

L'induit A du moteur d'entraînement agit par la transmission à roues dentées D sur l'arbre S qui guide l'outil ; cet arbre est mis en rotation au moyen d'une coulisse et d'un ressort, ce qui permet un mouvement d'avance et de recul de l'outil. L'arbre est en outre guidé par un écrou G. Tant que l'écrou peut tourner avec l'arbre, le mouvement de glissement n'a pas lieu. Mais si, par suite d'une force quelconque, l'écrou est calé ou retardé vis-à-vis de l'arbre, l'arbre se détache de l'écrou et le déplacement de l'outil a lieu. Cette action peut être due par exemple à la pression de l'outil sur la pièce à travailler.

Le mécanisme est le suivant : autour de la pièce G est fixé un noyau de fer R qui se meut avec un très faible entrefer à l'intérieur d'un champ magnétique M. Ce champ M, tétrapolaire dans le cas de la figure 2, porte deux enroulements *bb* traversés d'une façon continue par le courant de la source d'électricité. Les deux autres enroulements *aa* sont en série avec l'induit A et l'inducteur F du moteur. Les enroulements *a* et *b* travaillent en sens opposés.

Les enroulements *b* ou le champ excité tendent à fixer R et avec lui G ou à diminuer

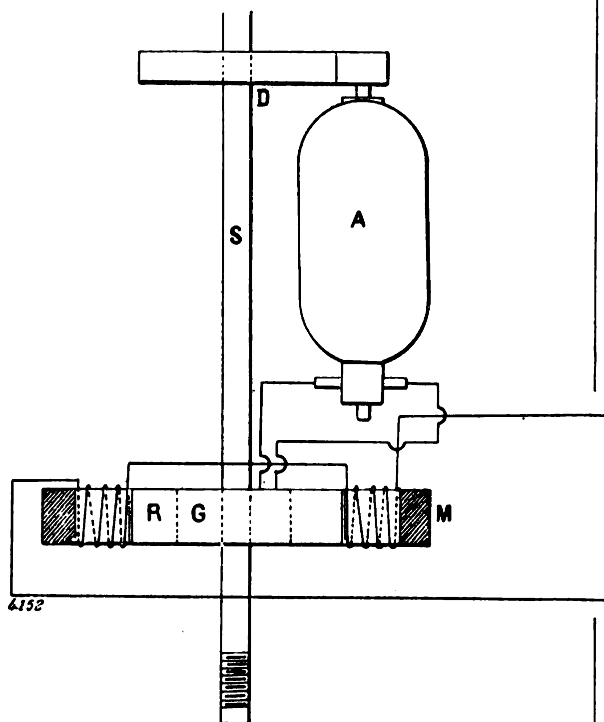


Fig. 1.

leur nombre de tours, ce qui produit leur séparation de l'arbre S. L'avancement de l'outil qui en résulte donne lieu à une augmentation de la

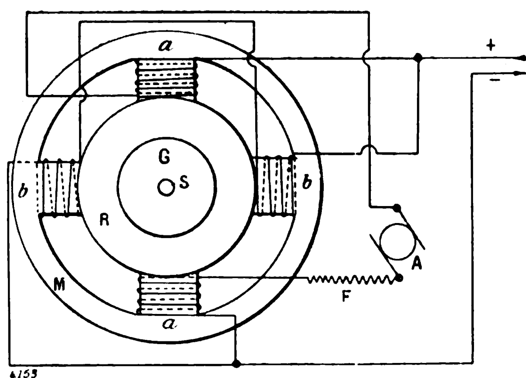


Fig. 2.

pression sur la pièce à travailler : l'intensité du courant du moteur augmente avec le travail à fournir. Comme *a* a une action opposée à celle de *b* et se trouve en série avec le moteur, l'effet de *a* augmente et pour une certaine valeur de l'intensité (c'est-à-dire de la pression de l'outil) annule celui de *b*. R et G tournent alors de nouveau jusqu'à ce que l'intensité ait atteint la valeur pour laquelle *b* surpasse *a* et ainsi de suite.

Cette disposition offre en outre l'avantage d'empêcher l'intensité du courant du moteur de dépasser une certaine limite déterminée par le choix des enroulements *a* et *b*.

G. Goisot.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Courbes dessinées par la décharge électrique issue des pointes, par **R.-H. Weber.** *Drud's Annalen*, t. VI, p. 96-104, septembre 1901.

Ces courbes s'obtiennent en disposant en face d'un gâteau de résine un certain nombre de fils de même longueur terminés en pointe et formant des figures symétriques. Après avoir chargé le gâteau en promenant à sa surface un peigne relié au conducteur d'une machine à influence, on le laisse quelques instants en face des pointes, puis on projette sur le gâteau de la fleur de soufre ou un mélange de poudres de carmin, de lycopode et de soufre. La poudre se rassemble sur certaines lignes qui forment un réseau rectiligne (fig. 1 et 2) : les croix noires sont des repères indiquant la position des pointes.

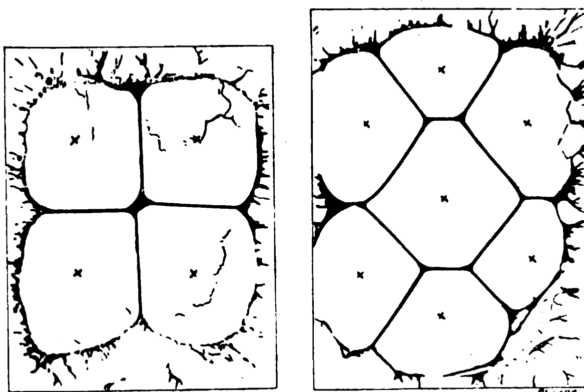


Fig. 1 et 2.

D'après les phénomènes bien connus de l'ombre électrique, observée dans la décharge par lueurs et qui disparaît au bout de quelque temps, il faut supposer que cette décharge se poursuit à travers l'isolant : elle n'est donc pas due à des particules métalliques arrachées à la pointe, mais a pour véhicule les éléments de l'air

ou ces éléments modifiés par l'ionisation. Les aigrettes, au contraire, paraissent dues aux particules métalliques.

Si on dispose deux pointes de manière que les régions où elles émettent des lueurs empiètent l'une sur l'autre, on observe suivant la direction de leur corde commune une ligne obscure très nette.

Si on éloigne les pointes du conducteur chargé, cette ligne obscure devient plus nette et plus étroite puis finit par disparaître. Il se trouve donc entre les deux pointes une région où aucune décharge ne se produit.

Les figures peuvent être aisément photographiées en disposant sur le conducteur un morceau d'étoffe de soie et une feuille de papier au bromure d'argent.

Si on dirige sur la ligne neutre un courant d'air, la ligne neutre s'incurve comme si elle était soufflée par le courant : cette expérience semble indiquer que les véhicules de la décharge sont des particules matérielles, que l'air peut entraîner. D'après des mesures approximatives, la vitesse de translation de ces particules serait d'environ 10 à 12 m par seconde.

On obtient également une déviation de la ligne neutre en communiquant au système entier, pointes et conducteurs, un mouvement de rotation rapide. M. L.

Décharge par une pointe formant le pôle d'un transformateur Tesla, par **E. Knoblauch**. *Drud's Annalen*, VI, 354-373, octobre 1901.

Une plaque de métal disposée en face d'une pointe reliée à l'un des pôles du transformateur de Tesla prend une charge positive si elle est à une petite distance, négative si elle est à une distance plus grande. En reliant la plaque et la pointe chacune à un voltmètre statique, et augmentant progressivement la distance de l'une à l'autre, on observe que les potentiels de la plaque et de la pointe croissent d'abord jusqu'à un maximum. A partir de ce maximum, le potentiel de la pointe reste à peu près constant, tandis que celui de la plaque diminue. Les deux potentiels atteignent leur maximum pour la même distance et immédiatement après que le flux d'étincelles a cessé (fig. 1).

La position de la plaque pour laquelle sa charge change de signe est indépendante des dimensions de cette plaque. Mais à ce moment on constate encore la production de lueurs ou d'aigrettes à la pointe, et c'est à ces lueurs ou ces aigrettes qu'est due la charge positive. En effet, si on les empêche d'arriver à la plaque, celle-ci prend une charge négative : c'est ce qu'on réalise en prenant des plaques percées en leur centre d'une ouverture circulaire : on n'observe jamais alors de charge positive, si faible que soit la distance de la pointe et de la plaque,

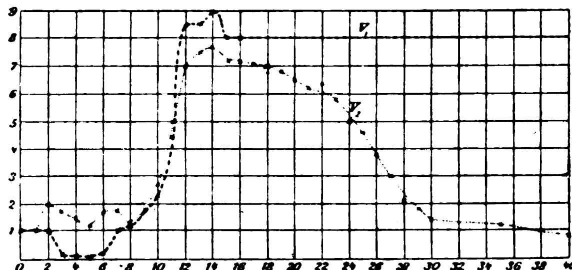


Fig. 1.

La pointe émet à la fois de l'électricité positive et de l'électricité négative. Les figures de Lichtenberg obtenues sur la plaque, quand il y a flux d'étincelles, présentent les mêmes caractères que celles obtenues avec la décharge oscillante d'une bouteille de Leyde : la charge négative se trouve dans la région centrale ; la charge positive se groupe tout autour sous forme d'étoiles.

Si, derrière une plaque percée d'une ouverture centrale, on en dispose une autre à une distance convenable, celle-ci se charge négativement quand la première se charge positivement.

La décharge par la pointe se fait sous forme d'un cône, dont la surface extérieure contient seulement de l'électricité négative et l'intérieur surtout de l'électricité positive sous forme d'aigrettes ; pourvu toutefois qu'il ne se produise pas de flux direct d'étincelles. L'angle de ce cône augmente quand on approche une plaque de la pointe ; à l'air libre, il est d'environ 120° ; l'électricité positive paraît agir surtout dans le prolongement de la pointe. M. L.

Phénomènes photoélectriques au voisinage du potentiel explosif, par **H. Kreusler**. *Drud's Annalen*, VI, 398-412, octobre 1901.

Emploi du courant photoélectrique pour la photométrie des rayons ultraviolets, *id. Ibid.*, 412-424.

Lorsqu'une cathode métallique a été soumise

pendant quelque temps à l'action des rayons ultraviolets, sa sensibilité diminue : elle se fatigue. Cette fatigue correspond à une modification de la surface métallique provoquée par les rayons ultraviolets ; en effet, si on souffle sur la cathode de manière à recouvrir la surface de buée, l'ombre du fil qui forme l'anode s'y dessine d'une manière très nette. Si l'action est assez prolongée la surface devient mate.

L'argent et l'aluminium recouverts de noir de fumée ne subissent pas cette fatigue.

Le courant photoélectrique est, toutes choses égales d'ailleurs, différent d'un métal à l'autre; si on fait croître progressivement le potentiel de la cathode, il croît d'abord à peu près comme ce potentiel ; puis, lorsque le potentiel se rapproche du potentiel explosif, il croît très rapidement et atteint des valeurs très grandes (fig. 1).

Contrairement aux observations précédentes, M. Kreusler trouve que le cuivre est très sensible et le zinc plus sensible que le platine.

L'auteur a appliqué le courant photoélectrique à la photométrie

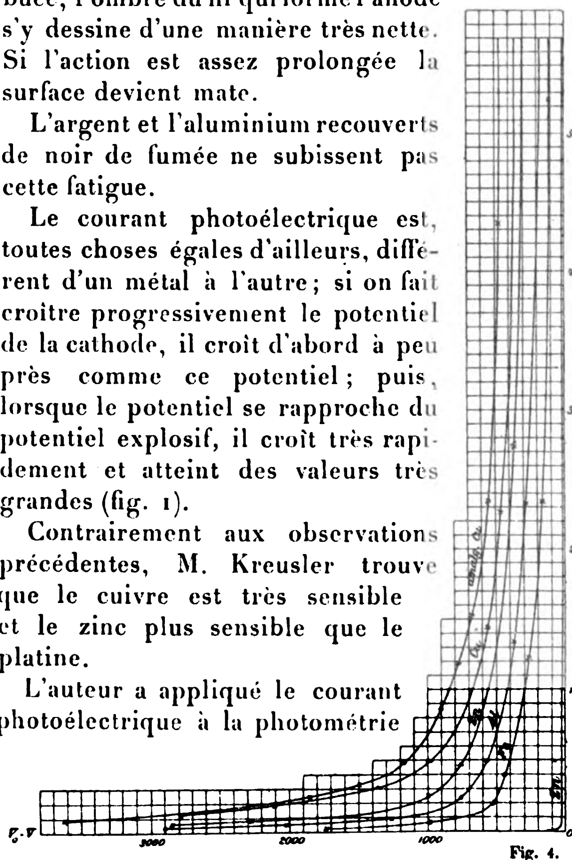


Fig. 1.

des rayons ultraviolets. Pour se maintenir toujours dans les conditions où il y a proportionnalité entre l'intensité lumineuse et celle du courant photoélectrique, on fait varier la distance de la cathode à l'anode au moyen d'une vis micrométrique ; la cathode est placée dans une atmosphère d'hydrogène sous pression réduite (environ 200 mm). M. L.

Action des diaphragmes sur la décharge électrique permanente dans l'air à la pression atmosphérique, par **M. Tœpler**. *Drud's Annalen*, t. VI, p. 339-347, octobre 1901.

Quand on dispose sur le trajet de la décharge un morceau de métal, soit isolé, soit relié au sol, la décharge passe ou en totalité ou en partie dans le métal, suivant les dimensions et la position de ce dernier. Les portions de courant qui passent en dehors du métal restent visibles comme auparavant. Pour les autres portions qui traversent le métal, celui-ci devient une électrode intermédiaire et partage la décharge en deux régions, où se produisent des phénomènes lumineux indépendants ou à peu près. Il est à remarquer en particulier que la forme de la décharge peut être différente dans ces deux régions.

Si au lieu d'un morceau de métal, on interpose sur le trajet de la décharge une lame isolante percée d'une étroite ouverture, l'ouverture devient aussi une électrode intermédiaire : il est de même plus facile d'obtenir des deux côtés du diaphragme des décharges de nature différente.

En se plaçant dans des conditions telles que de part et d'autre se forment des aigrettes, on constate qu'il se produit toujours, dans l'ouverture même, une masse lumineuse dont la pointe est toujours dirigée vers l'anode.

De chaque côté du métal se forme une petite couche lumineuse séparée du reste de la décharge par une région obscure : ce phénomène paraît caractériser la décharge au voisinage d'une électrode métallique.

Il faut remarquer que la décharge à travers une ouverture n'est stable que si une couche lumineuse existait primitivement à l'endroit où on a placé le diaphragme : sinon la décharge est extrêmement instable. Un diaphragme métallique se comporte comme un diaphragme isolant pourvu que l'ouverture ne soit pas trop petite.

Si on remplace le diaphragme par un tube de verre long de plusieurs centimètres, il se produit toujours une strate lumineuse à l'extrémité du tube tournée du côté de l'anode : elle s'y maintient quand on déplace les électrodes ou le tube.

D'après ces observations, toutes les formes de décharge dans lesquelles se transforment les lueurs positive et négative quand on augmente l'intensité du courant sont composées d'une série de masses lumineuses développées plus ou moins complètement et dont le nombre augmente avec l'intensité du courant.

M. Lamotte.

Influence de la pression de l'air et de son état hygrométrique sur la décharge de l'électricité statique par les pointes, par **Fr. Tamm.** *Drud's Annalen*, t. VI, p. 259-280, octobre 1901.

La pointe reliée à l'un des pôles d'une machine de Wimshurst et à l'armature interne d'une batterie de bouteilles de Leyde, se trouve en face d'un disque en communication avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre Thomson. L'autre pôle de la machine, l'armature externe de la batterie et la seconde paire de quadrants de l'électromètre sont reliés au sol.

Pour déterminer la différence de potentiel minima M qui correspond à la décharge, on élève la différence de potentiel jusqu'à ce que l'aiguille de l'électromètre dévie : quand elle a commencé à dévier, son déplacement devient de plus en plus rapide jusqu'à ce qu'elle disparaisse du champ; on diminue alors lentement la différence de potentiel jusqu'à obtenir le déplacement de l'aiguille le plus lent possible. La différence de potentiel minima est inférieure à la différence de potentiel à laquelle commence la décharge, mais la différence entre les deux est la même pour l'électricité négative et pour l'électricité positive, quoique les différences de potentiel elles-mêmes soient inégales.

La valeur trouvée pour M est la même, qu'on procède par différences de potentiel croissantes ou décroissantes. Quand on laisse la décharge se produire pendant quelque temps et qu'on détermine de nouveau la valeur de M, on trouve une valeur plus petite. Cette diminution est due à l'effet de la décharge sur l'air compris entre la pointe et le disque ; effectivement elle disparaît, si on renouvelle l'air entre le disque et la pointe au moyen d'un ventilateur. Si M_r est la différence de potentiel minima obtenue après une décharge de très courte durée, M_v ce minimum après une décharge prolongée, les quantités d'électricité E écoulées par la pointe se calculent assez exactement par la formule

$$E = cV\left(V - \frac{M_v + M_r}{2}\right)$$

où V est le potentiel de la pointe, c une constante dépendant de la distance de la pointe au disque.

L'influence de l'état hygrométrique est très faible jusqu'à ce que cet état hygrométrique atteigne 0,50 ; au delà, la vitesse d'écoulement de l'électricité par la pointe diminue rapidement quand le degré d'humidité augmente.

En désignant par M la moyenne $\frac{M_v + M_r}{2}$, on trouve que la variation de M avec la pression x est représentée par la formule :

$$M_x = M_{76} \frac{1}{\sqrt{\frac{76}{p} - \text{log nat.} \left(\frac{76}{x}\right)}},$$

et la quantité d'électricité écoulée par la formule :

$$E_x = cV(V - M)\left[\frac{76}{x} - \sqrt[3]{\frac{V}{10^5}} \text{log nat.} \left(\frac{76}{x}\right)\right]^2.$$

M. Lamotte.

Note sur la décharge sous forme d'étincelle par **Siegfr. Guggenheimer;** *Philosophical Magazine* [VI], t. II, p. 311, sept. 1901.

On connait la discussion qui a eu lieu entre MM. Swyngedauw et Warburg au sujet des phénomènes accompagnant la décharge sous forme d'étincelle dans les gaz[1]. La discordance complète entre les opinions de ces physiciens et l'espoir de trancher ce différent ont conduit M. Guggenheimer à effectuer les expériences qui font l'objet de cette note. Avant de résumer ces tentatives expérimentales, disons tout de suite que leur résultat semble confirmer les vues de M. Warburg.

Voyons d'abord l'idée directrice de ces recherches. Le fait que la différence de potentiel nécessaire pour produire l'étincelle (*spark-potential*) est indépendante de la nature de la radiation utilisée pour diminuer le retard de décharge (*Verzögerung* de Warburg) semble suggérer l'idée que ce potentiel doit dépendre du degré d'ionisation du gaz. On devrait par conséquent s'attendre à ce que ce retard de décharge soit détruit ou tout au moins diminué, si à la place de la radiation directe nous introduisions, dans l'espace contenant le système producteur d'étincelles, un nombre suffisant d'ions. C'est précisément ce que l'expérience prouve.

L'appareil employé par M. Guggenheimer est essentiellement constitué d'un tube en laiton percé latéralement de deux trous opposés qu'on bouche avec deux bouchons d'ébonite à travers

[1] R. Swyngedauw, *Journ. de Phys.*, t. IX, p. 488 (1900); Bichat et Swyngedauw, *Rapports du Congrès international de Physique*, t. III, p. 164 (1900); E. Warburg, *Verhandlungen der Deutsch. Phys. Gesell*, t. II, p. 212 (1900).

lesquels passent les fils métalliques supportant les électrodes (des sphères de 7 mm de diamètre) En face de ces électrodes se trouve (dans le tube en laiton) une ouverture masquée par une feuille d'aluminium qu'on peut, à son tour, couvrir au moyen d'un petit couvercle en laiton. Un des bouts du gros tube communique avec un tube en U contenant du $CaCl^2$ qui est lui-même suivi d'un flacon laveur rempli de SO^4H^2 concentré. L'autre bout communique, par l'intermédiaire d'un tube de verre (figure 1), avec un second

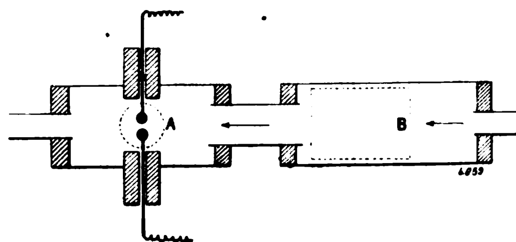


Fig. 1.

tube de laiton de même diamètre que le premier, ayant 20 cm de longueur et étant percé d'une fenêtre de 8 cm de long sur 2 cm de large fermée par une mince feuille d'aluminium; ce dernier est enfin en relation, par l'intermédiaire d'un tube en U contenant du $CaCl^2$, avec un chalumeau. Quand à la disposition électrique, un des circuits comprend un des pôles d'une machine de Wimshurst, l'armature intérieure d'une bouteille de Leyde, une des électrodes sphériques et la partie indicatrice d'un électromètre de Braun; l'autre circuit comprend l'autre pôle de la machine de Wimshurst, l'armature externe de la bouteille de Leyde, l'autre électrode sphérique et la cage de l'électromètre, qui, généralement, était mise au sol.

Voici maintenant la manière d'opérer. On mesurait d'abord le potentiel de décharge avant de faire tomber la radiation sur l'excitateur (électrodes), et avant d'introduire des ions dans le tube A. On envoyait ensuite à travers la feuille d'aluminium de B, au moyen d'un tube producteur de rayons X placé devant cette feuille, de forts rayons X qui donnaient naissance à des ions qu'on conduisait en A en se servant du courant d'air fourni par le chalumeau dont nous avons parlé plus haut, et on mesurait le potentiel pendant cette opération. On faisait enfin une troisième mesure de potentiel en faisant tomber des rayons X directement sur les électrodes à travers la petite fenêtre contenant une feuille d'aluminium, en A.

Les résultats obtenus sont très concordants si l'on a soin d'employer des électrodes fraîchement polies et une source productrice de rayons X assez forte. En voici un spécimen, parmi les plus frappants :

DISTANCE DES SPHÈRES = 1 *mm*

	volts	volts	volts
Sans radiation. . . .	4 500	5 500	5 500
Avec — en B.	3 500	3 500	3 500
— — en A.	3 500	3 400	3 200

DISTANCE DES SPHÈRES = 2,1 *mm*

	volts	volts	volts
Sans radiation . . .	7 500	8 000	8 000
Avec — en B .	6 000	5 500	5 800
— — en A .	6 000	6 100	5 900

Ces chiffres montrent d'une manière très claire que les potentiels correspondants à la décharge avec radiation en B sont compris entre les valeurs des potentiels correspondant à la décharge sans radiation, et ceux correspondant à la décharge avec radiation directe en A. Mais il est à remarquer que les potentiels nécessaires pour produire la décharge sont toujours inférieurs de 1000 à 1 500 volts à ceux mesurés sans employer un moyen pour faire disparaître le retard de décharge.

L'auteur termine sa note par quelques considérations d'ordre théorique qui lui servent à expliquer les résultats que nous venons d'exposer. Nous allons essayer d'en donner un aperçu.

M. Guggenheimer fait d'abord remarquer qu'on n'a pas tenu compte jusqu'à présent des deux faits suivants, qui sont d'une importance capitale en ce qui concerne l'explication des phénomènes de retard de la décharge sous forme d'étincelle.

1° Le fait, découvert par Geitel [1] et par C. T. R. Wilson [2], qui montre que l'air contient toujours des ions et qu'il y a une production continuelle d'ions en connexion naturelle avec la combinaison de ces derniers.

(1) H. Geitel, *Phys. Zeitschrift.* t. II, p. 116 (1900) ; J. Elster et H. Geitel, *ibid.*, p. 60 (1901).

(2) C.-T.-R. Wilson, *Proc. Roy. Soc.*, t. LXVIII, p. 151 (1901).

2° Le principe établi pour la première fois par J. J. Thomson [1], et développé plus tard par des expériences exécutés par Towsend [2]; à savoir : la production de nouveaux ions par la collision des corpuscules chargés négativement, se mouvant sous l'influence d'une force électromotrice intense, avec les molécules du gaz.

Une comparaison attentive des résultats d'expériences entreprises à différents points de vue, montre, que la force électromotrice par centimètre exigée pour donner aux ions négatifs une vitesse telle qu'ils puissent produire de nouveaux ions par collision avec les molécules du gaz, *est très approximativement la même que la force électromotrice nécessaire pour produire la décharge sous forme d'étincelle dans le gaz considéré à la même pression, et avec des électrodes distantes de 1 cm.* J. J. Thomson prouve cela, dans le mémoire déjà cité, par un petit tableau numérique tiré d'un mémoire de Skinner [3]. Voici ce tableau, en désignant par X la force électromotrice et par p la pression.

p	$\frac{X}{cm}$ en volts	$\frac{X}{p}$
0.6 mm	27	45
1.0	40	40
1.5	56	38

Si maintenant nous considérons la valeur du potentiel exigée pour avoir une décharge sous forme d'étincelle à une distance des électrodes égale à 1 cm et à la pression atmosphérique, valeur qui, d'après Liebig [4], atteint 31 000 volts, nous trouvons $\frac{X}{p} = 40,8$; ce qui concorde avec la valeur de $\frac{X}{p}$ du tableau précédent. Il serait très intéressant de calculer $\frac{X}{p}$ pour des pressions plus fortes ; on pourrait alors se servir des résultats de Orgler [5] (qui s'appliquent à des distances d'électrodes ne dépassant pas 0,05 ou 0,06 cm) et de ceux de Paschen (étincelle de 1 cm) ; ajoutons néanmoins que ces résultats sont trop limités et ils ne permettent pas de calculer $\frac{X}{p}$ pour un nombre suffisant de cas.

En tenant maintenant compte des faits que nous avons relatés ci-dessus, à savoir, que même l'air à la pression atmosphérique contient toujours des ions, et que des nouveaux ions se produisent continuellement, il paraît possible d'obtenir une idée nette de ce qui arrive avant le passage de l'étincelle, aussi bien que de ce qui arrive pendant la décharge sous forme d'étincelle.

Supposons pour le moment, que l'on réunisse les électrodes à une source de force électromotrice croissant très lentement. Il y aura alors, d'après les observations de M. Warburg et autres physiciens, création d'un très faible courant qui restera constant aussi longtemps qu'il n'y aura pas d'intervention de la part d'agents extérieurs ; mais dès que la force électromotrice atteint la valeur nécessaire pour donner aux ions existants la vitesse nécessaire pour pouvoir produire, par suite de chocs, de nouveaux ions, l'intensité du courant en question croit très vite et tend vers un maximum [1]. Dans les expériences de Kreusler (loc. cit.) qui vérifient ces conclusions et dans lesquelles les électrodes étaient exposées à la lumière ultraviolette, on trouvait, en s'approchant du potentiel de décharge, qu'une variation de la force électromotrice correspondant à 1,7 ; 1,7 ; et 1,3 p. 100, amenait une variation dans l'intensité du courant correspondant à 337,2 ; 243,1 et 392 p. 100 (électrodes de Pt, Cu, Fe).

Supposons pour le moment que l'intensité d'un pareil courant de saturation entre les deux électrolodes soit seulement 1 p. 100 de l'intensité du courant maximum observé par M. Kreusler. Soit donc $I = 10^{-10}$ ampère. En employant la formule $I = qe$, où q désigne le nombre d'ions par unité de volume, nous trouvons : $q = 2 \times 10^9$ approx.

Une simple comparaison de ce nombre avec ceux de Loschmidt montre que seulement la 10^{-11} partie de la molécule devient ionisée.

Si l'on emploie une source d'ionisation extérieure, alors, suivant C. T. R. Wilson, 20 ions contenus dans l'unité de volume donneraient naissance, par suite de collisions, à 2×10^9 ions,

(1) J.-J. Thomson. *Phil. Mag.* [V], t. L, p. 278 (1900); *ibid.* [VI], t. I, p. 361 (1901).

(2) Towsend, *Nature*, août 1900; *Phil. Mag.*, février et juin 1901.

(3) Skinner, *Phil. Mag.* [V], t. L (1900).

(4) Liebig, *Phil. Mag.* [V], t. XXIV, p. 106.

(5) Orgler, *Ann. de Phys.*, t. I, p. 159 (1900).

(1) Kreusler, *Verh. Phys. Gesell.*, Berlin, p. 86 et 91 (1898).

environ. Eh bien, le temps nécessaire pour cette transformation est ce que Warburg appelle « *la période de retardation* » (période of retardation). Il est, maintenant, clair que ce temps est considérablement diminué si nous produisons, par radiation, une nouvelle série d'ions qui donneront naissance à de nouveaux ions, par suite des chocs avec les molécules du gaz.

Il serait facile de voir que les considérations qui précèdent expliquent parfaitement bien les résultats de Jaumann.

D'autre part, en tenant compte de cette nature de la décharge sous forme d'étincelle on peut donner une nouvelle définition de l'intensité électrique de Maxwell d'un gaz ; *l'intensité électrique d'un gaz à la pression* p, *est* alors *définie comme l'intensité électrique nécessaire pour donner aux ions négatifs une vitesse suffisante pour rendre ces derniers capables de produire d'autres ions, par collisions avec les molécules du gaz.*

Conformément à cette manière de voir, les déterminations du potentiel nécessaire pour produire une étincelle (spark-potential) sous l'action d'une radiation, effectuées par M. Warburg et ses élèves, doivent être regardées comme donnant le potentiel *normal*; et si l'on opère sans radiation on peut obtenir le même potentiel normal pourvu que l'intensité électrique agisse pendant un temps suffisant.

L'auteur se propose enfin de prouver par des expériences qu'il est en train d'effectuer et en suivant la manière de voir de plus haut :

1° L'ionisation résultant de la haute température de l'étincelle.

2° La présence de la vapeur métallique chaude.

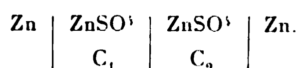
3° L'émission des rayons cathodiques par la cathode est due à l'influence de la lumière ultraviolette émise par l'étincelle. Eugène NÉCULCÉA.

DIVERS

Influence des causes physiques sur la vitesse de transport des ions et sur la force électromotrice des éléments réversibles, par **R. Gans**. *Drud's Annalen*, t. VI, 315, 331, oct. 1901.

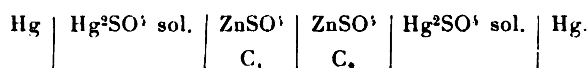
Les éléments de pile peuvent se partager en quatre groupes :

1er type. Piles de concentration de Helmholtz :

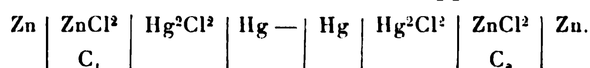

Zn | ZnSO⁴ C_1 | ZnSO⁴ C_2 | Zn.

C désignant la concentration.

2e type. Piles dans lesquelles le transport de l'anion est réversible.


Hg | Hg²SO⁴ sol. | ZnSO⁴ C_1 | ZnSO⁴ C_2 | Hg²SO⁴ sol. | Hg.

3e type. Piles formées de deux électrodes impolarisables de Helmholtz avec des dissolutions de concentrations différentes, en opposition.


Zn | ZnCl² C_1 | Hg²Cl² | Hg — | Hg | Hg²Cl² | ZnCl² C_2 | Zn.

4e type. Piles analogues à l'élément Daniell.


Zn | ZnSO⁴ | CuSO⁴ | Cu.

Les transformations qui se produisent dans ces divers éléments pendant le passage du courant sont toutes réversibles, si on néglige l'influence de la diffusion.

L'auteur applique les principes thermodynamiques pour calculer l'effet de la pression sur le transport des ions et la force électromotrice.

La question avait été traitée déjà par Duhem : la formule trouvée a été vérifiée expérimentalement par Gilbaut. D'après Gans, les conclusions de Duhem sont exactes seulement pour les éléments du troisième et du quatrième types. Duhem dit : Si le volume croît par le passage du courant, la force électromotrice diminue quand la pression augmente. Pour les éléments des deux premiers types, on peut conclure seulement des calculs de Gans que la variation relative de la force électromotrice est plus petite que la variation relative du nombre de transport de l'anion (1er type) ou du cation (2e type) : la même restriction s'applique aux cas où le volume diminue ou reste invariable pendant le passage du courant.

En ce qui concerne l'influence de la température, la formule de Helmholtz doit être complétée et devient :

$$E - T\frac{dE}{dT} - ET\frac{d\log k}{dT} = Q,$$

E étant la force électromotrice, T la température, k le rapport des nombres de transport des deux ions, Q la quantité de chaleur chimique correspondant à une valence. L'auteur a vérifié sur un élément de concentration Zn | Zn SO⁴ que l'augmentation de pression fait varier la vitesse de transport de l'ion et du cation dans le même sens et à peu près de la même quantité. M. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 18 Janvier 1902. 9e Année. — N° 3.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEURS

On se rappelle les articles qui ont paru sous ce même titre dans les numéros des 26 octobre, 23 et 30 novembre 1901 et la polémique à laquelle ont pris part MM. Leblanc, Latour et Heyland [1]. On se rappelle également quel était le dispositif adopté par M. Latour.

Bien que l'expérience semble avoir définitivement prononcé et avoir donné raison à M. Latour, il ne sera peut-être pas sans intérêt de revenir en quelques mots sur la question et d'examiner de plus près les raisonnements de M. Leblanc.

Je suppose que l'on ait p balais que je numérote 1, 2..., p ; qu'il y ait pn lames du collecteur que je numérote de même de 1 à pn. Je numéroterai de même de 1 à pn les spires ou sections de l'induit, la spire 1 étant celle qui joint la lame 1 à la lame 2, la spire 2 celle qui va de la lame 2 à la lame 3, etc.

Je diviserai le temps en *périodes* et j'entends par période, *non pas la période des courants polyphasés qui alimentent l'appareil, mais l'intervalle de temps qui s'écoule depuis le moment où un balai quitte le contact d'une des lames du collecteur jusqu'au moment où il quitte le contact de la lame suivante.*

Alors pendant la période 1, le balai 1 sera en connexion avec les lames 1 et 2, le balai 2 avec les lames $n+1$ et $n+2$, le balai q avec les lames $(q-1)n+1$ et $(q-1)n+2$, et enfin le balai p avec les lames $(p-1)n+1$ et $(p-1)n+2$. Pendant la période 2, le

[1] Voir, t. XXIX : M. Leblanc, p. 113 ; M. Latour, p. 294 ; A. Heyland, p. 328 et p. CLXXII ; ainsi que p. CXIV.

balai 1 sera en connexion avec les lames pn et 1 et le balai q avec les lames $(q-1)\,n$ et $(q-1)\,n+1$. Pendant la période 3 le balai 1 sera en connexion avec les lames $pn-1$ et pn et le balai q avec les lames $(q-1)\,n-1$ et $(q-1)\,n$ et ainsi de suite.

Nous envisagerons d'autre part divers circuits que je définirai comme il suit : Le circuit C_1 ira du balai 1 au balai 2 à travers la lame 1, les spires 1, 2, 3..., n et la lame $n+1$. Plus généralement le circuit C_q ira du balai q au balai $q+1$ par la lame $(q-1)\,n+1$, les spires $(q-1)\,n+1$ à $(q-1)\,n+n$ et la lame $qn+1$. Le circuit C'_1 (court-circuit) ira du balai 1 au balai 1 à travers la lame 1, la spire 1 et la lame 2 et le circuit C'_q ira du balai q au balai q à travers la lame $(q-1)\,n+1$, la spire $(q-1)\,n+1$ et la lame $(q-1)\,n+2$.

Il résulte de ces définitions que le circuit C_1, par exemple, reste fermé pendant les deux périodes 1 et 2, puisque pendant ces deux périodes la connexion subsiste entre le balai 1 et la lame 1, et entre le balai 2 et la lame $n+1$. Il en est de même des autres circuits C_q. Au contraire les courts-circuits C'_1, C'_2, et C'_p ne resteront fermés que pendant la période 1.

Nous pourrons alors regarder les courants qui règnent dans l'induit comme la superposition de courants $I_1, I_2, \ldots, I_p$ circulant dans les circuits $C_1, C_2, \ldots, C_p$ et de courants i_1, $i_2, \ldots, i_p$ circulant dans les circuits $C'_1, C'_2, \ldots, C'_p$.

Dans ces conditions,	l'intensité totale sera :
Dans la spire 1 :	$I_1 + i_1$.
Dans les spires 2,3,..., n :	I_1
Dans la spire $n+1$:	$I_2 + i_2$.
Dans les spires $n+2,\ldots,2n$:	I_2.
Dans la lame 1... :	$I_1 + i_1 - I_p$.
Dans la lame 2... :	$-i_1$.
Dans les lames 3,4,...,n, :	zéro.
Dans la lame $n+1$:	$I_2 + i_2 - I_1$.
Dans la lame $n+2$:	$-i_2$.

J'appelle V_q le potentiel au balai q ; E_q la force électromotrice entre le balai q et le balai $q+1$; J_q le courant qui arrive de l'extérieur au balai q ; de telle façon que l'on ait :

$$E_1 = V_1 - V_2; \quad E_q = V_q - V_{q+1}; \quad J_1 = I_1 - I_p; \quad J_q = I_q - I_{q-1}.$$

J'appelle R la résistance d'une spire ; j'appelle ρ_q la résistance de la lame q en y comprenant la résistance au contact de la touche correspondante du collecteur avec le balai. De cette façon, pendant la période 1, les résistances $\rho_3, \rho_4, \ldots, \rho_n$ doivent être regardées comme infinies puisque les touches 3, 4,..., n ne sont au contact d'aucun balai.

J'appelle u_q le flux magnétique qui traverse la spire q et je pose

$$U_1 = u_1 + u_2 + \ldots\ldots + u_n,$$
$$U_{q+1} = u_{qn+1} + u_{qn+2} + \ldots\ldots + u_{qn+n}.$$

Nous aurons alors les équations suivantes qu'il nous reste à discuter.

$$E_1 = \frac{dU_1}{dt} + (n-1)\,R\,I_1 + R\,(I_1 + i_1) + \rho_1\,(I_1 + i_1 - I_p) + \rho_{n+1}\,(I_1 - i_2 - I_2) \qquad (1)$$

$$o = \frac{du_1}{dt} + R\,(I_1 + i_1) + \rho_1\,(I_1 + i_1 - I_p) + \rho_2\,i_1. \qquad (2)$$

L'équation (1) se rapporte au circuit C_1 et l'équation (2) au circuit C'_1. Dans le second membre de (1) nous avons cinq termes : le premier représente la force électromotrice

induite, le second se rapporte à la résistance des $n - 1$ spires $2, 3, \ldots, n$, le troisième à la résistance de la spire 1, le quatrième à celle de la lame 1, le cinquième à celle de la lame $n+1$. Dans le second membre de (2) nous avons quatre termes, le premier représente la force électromotrice induite, et les trois autres se rapportent à la résistance de la spire 1, de la lame 1 et de la lame 2.

Pour montrer que les critiques de M. Leblanc sont mal fondées, je pourrai me contenter de l'approximation suivante : je suppose que le nombre n soit grand, c'est ce que M. Leblanc suppose également; alors dans le second membre de (1), le second terme sera beaucoup plus grand que les trois suivants et en négligeant

$$Ri_1 + \rho_1(I_1 + i_1 - I_p) + \rho_{n+1}(I_1 - i_2 - I_2)$$

devant nRI_1 nous pourrons écrire :

$$E_1 = \frac{dU_1}{dt} + nRI_1. \qquad (1\ bis)$$

Supposons que les balais tournent avec une vitesse convenable pour qu'il y ait synchronisme, *le champ magnétique deviendra alors fixe dans l'espace;* cela n'est pas tout à fait exact comme l'a fait observer M. Leblanc, la direction du champ variera pendant la durée d'une période, mais *à la fin de chaque période, il redeviendra identique à ce qu'il était au commencement de cette période.*

Donc u_1, $u_2, \ldots$ et U_1 auront même valeur au commencement de la période 1 et au commencement de la période 2.

Nous aurons :

$$\int E_1 dt = nR\int I_1 dt + \int dU_1.$$

en étendant les intégrations à la période 1 tout entière. Je viens de dire que U_1 a même valeur au commencement de la période 1 et au commencement de la période 2. Donc

$$\int dU_1 = 0.$$

Nous avons donc

$$\int E_1 dt = nR\int I_1\, dt.$$

ce qui veut dire que l'intensité moyenne pendant la période 1, est égale à la force électromotrice moyenne pendant la période 1, divisée par la résistance nR, comme s'il n'y avait pas de self-induction.

Comme, si le nombre n est grand, nos périodes sont très courtes, nous pouvons dire que tout se passe comme s'il n'y avait pas de self-induction. Nous retombons donc sur les conclusions de M. Latour.

Quel est donc le vice du raisonnement de M. Leblanc?

Dans chaque période nous devons distinguer deux phases : la phase normale pendant laquelle les balais restent au contact des mêmes touches du collecteur, et la phase de commutation. D'après M. Leblanc, pendant la phase normale, le champ, loin de rester fixe tourne avec la même vitesse que si les balais étaient immobiles ; car tout se passe comme si le courant était amené par des bagues et non par des balais. Pendant la phase de commutation, qui est extrêmement courte, le champ est brusquement ramené en arrière à sa direction primitive.

Si alors nous divisons la période 1 en deux phases, la phase normale 1 *bis* suivie de la

phase de commutation 1 *ter*, si nous appelons u'_q, u''_q et u'''_q les valeurs de u_q (et U'_1, U''_1, U'''_1 les valeurs de U_1), au commencement de la période 1, à la fin de la phase 1 *bis*, et enfin à la fin de la phase 1 *ter*, c'est-à-dire au commencement de la période 2, nous devrions avoir d'après M. Leblanc et dans l'hypothèse du synchronisme :

$$u'_q = u'''_q, \quad u''_q = u'_{q-1}.$$

En effet à la fin de la période le champ a repris sa direction primitive. Donc la valeur finale u'''_q doit être égale à la valeur initiale u'_q. D'un autre côté au moment de la commutation la section $q - 1$ prend brusquement la place de la section q, le flux $u'''_{q-1} = u'_{q-1}$ doit donc être égal au flux u''_q.

Il viendrait ainsi :

$$U'''_1 - U''_1 = u''_{n+1} - u''_1$$

et comme u''_{n+1} n'est pas égal à u''_1 :

$$U'''_1 - U''_1 \gtrless 0. \tag{3}$$

Or d'autre part si nous intégrons l'équation (1) par rapport au temps en étendant l'intégration à toute la phase de commutation (1 *ter*), nous trouvons :

$$U'''_1 - U''_1 = \int [E_1 - (n-1)RI_1 - R(I_1 + i_1) - \rho_1(I_1 + i_1 - i_p) + \rho_{n+1}(I_1 - I_2 - i_2)]\,dt.$$

La force électromotrice E_1 et les intensités restent finies, les résistances R et ρ restent finies puisque le circuit C_1 n'est pas rompu au moment de la commutation 1 *ter*. La fonction sous le signe $\int$ reste donc finie et comme la durée de la phase 1 *ter* est excessivement petite, l'intégrale peut être regardée comme nulle et l'on a :

$$U'''_1 - U''_1 = 0.$$

contrairement à l'inégalité (3).

L'hypothèse de M. Leblanc doit donc être rejetée. On aura toujours $u'_q = u'''_q$, puisque c'est là la définition même du synchronisme. Mais alors on ne pourra avoir $u''_q = u'_{q-1}$. Il n'est donc pas vrai que, pendant la phase normale 1 *bis*, tout se passe comme si le courant était amené non par des balais, mais par des bagues. Pendant cette phase, les balais *restent* en contact avec les mêmes touches du collecteur ; mais il ne s'ensuit pas que tout se passe comme si les balais *étaient toujours restés* en contact avec ces mêmes touches, c'est-à-dire comme dans l'hypothèse des bagues. Le régime qui se produirait dans l'hypothèse des bagues, n'a pas le temps de s'établir dans le cas qui nous occupe ; il est certain tout au moins qu'il ne peut s'établir immédiatement. Par conséquent, au moins pendant la première partie de la phase normale 1 *bis* (et à ce que je crois, pendant presque toute la durée de cette phase), les phénomènes sont tout différents de ce qu'ils seraient dans l'hypothèse des bagues. Tel est le défaut du raisonnement de M. Leblanc.

Il ne faudrait pas croire qu'en intégrant l'équation (2) comme nous avons intégré l'équation (1), on pourrait démontrer que

$$u'''_1 - u''_1 = 0.$$

En effet nous avons dans le second membre la résistance ρ_2 qui devient très grande, puis infinie pendant la phase de commutation parce que le contact de la lame 2 avec le balai 1 est rompu. Ainsi la différence $u'''_1 - u''_1$ n'est pas nulle, mais quand on s'arrange pour avoir une bonne commutation elle est très petite.

J'ai fait plus haut une approximation en supposant *n* très grand. Je ne crois pas utile de démontrer que nos conclusions ne seraient pas modifiées par un calcul plus précis.

Cette polémique m'avait inspiré une série de réflexions et je les avais d'abord rédigées pour en faire la préface de cet article. Mais j'ai craint par trop de discours de dissimuler la simplicité du raisonnement qui précède. Je préfère donc différer la publication de ces réflexions et en faire l'objet d'un second article.

H. Poincaré.

EMPLOI DES APPAREILS ÉLECTRIQUES ENREGISTREURS

SUR LES VÉHICULES DE TRAMWAYS ET DE CHEMINS DE FER [1]

Jusqu'à présent, les appareils enregistreurs n'ont pour ainsi dire pas été utilisés en France pour faire des mesures sur les locomotives ou véhicules moteurs électriques. La Compagnie des Chemins de fer P.-L.-M., qui a construit il y a quelques années une locomotive d'essai à accumulateurs [2] a tenté d'exécuter quelques relevés avec un wattmètre enregistreur ; mais, comme on ne cherchait pas à obtenir des résultats bien précis, on s'est contenté de prendre un wattmètre ordinaire Richard à poids que l'on possédait depuis longtemps et auquel on a adapté un système provisoire d'amortissement. Je crois que les essais entrepris avec cet appareil un peu rudimentaire n'ont pas été poursuivis.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest n'a jamais fait de relevés avec des appareils enregistreurs sur ses locomotives ou fourgons électriques. La Compagnie d'Orléans avait l'intention de faire des essais de consommation sur ses locomotives électriques, avant l'ouverture de la ligne du quai d'Orsay au printemps 1900, à l'aide d'un ampèremètre enregistreur Meylan, du même type que celui employé sur les tramways, mais qui aurait été disposé verticalement, à cause du peu de place disponible, au lieu de l'être horizontalement ; il aurait été intéressant de voir, avec cette position nouvelle et sur ce véhicule nouveau, quelles dispositions auraient donné les meilleurs résultats pour l'obtention de courbes bien nettes. Malheureusement l'essai n'a pas eu lieu, parce que les ingénieurs de la Compagnie ont été trop absorbés par la mise en route de la ligne, qui a eu lieu avant l'époque prévue, et qu'une fois l'exploitation commencée, il n'a plus été possible d'intercaler des trains d'essais dans l'horaire du service régulier.

Il est probable toutefois que les Compagnies de Chemins de fer ne tarderont pas à faire usage de wattmètres et surtout d'ampèremètres enregistreurs sur les lignes électriques installées ou qu'elles installeront, car ces appareils leur donneront des indications très utiles sur les consommations instantanées correspondant à différents cas de la pratique sur lesquels les données sont encore très peu étendues.

Sur les chemins de fer à vapeur l'emploi des enregistreurs électriques date seulement de l'année 1900. Sur la locomotive à vapeur il n'y a évidemment aucun motif de faire usage d'appareils de ce genre. On n'avait jamais songé non plus jusqu'à présent à les utiliser pour contrôler l'éclairage électrique des voitures, dont l'application remonte déjà à dix ans, parce que cet éclairage était obtenu toujours à l'aide d'accumulateurs qui donnent lieu à nne chute de tension et par suite

[1] Voir numéro du 4 janvier 1902, p. 1899.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 263, 18 janvier 1899.

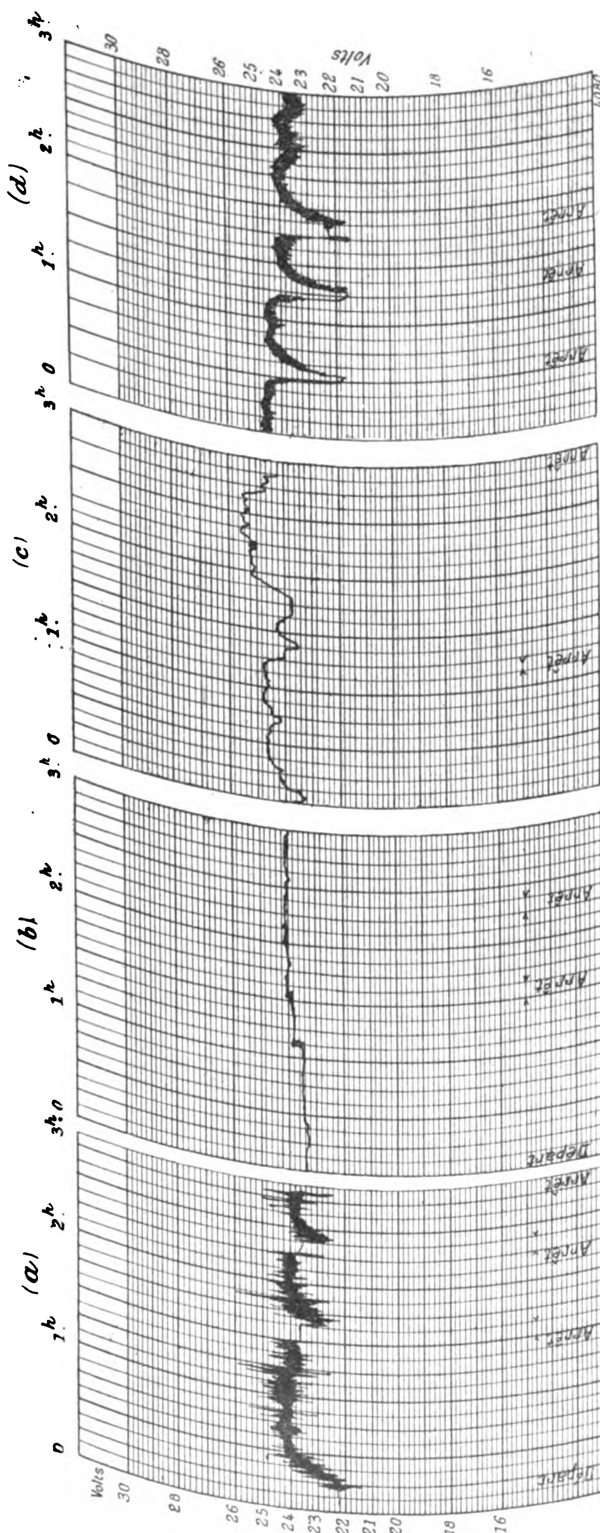


Fig. 12. — Courbes relevées, avec un voltmètre enregistreur Richard, sur une voiture de chemin de fer.

d'intensité, très lente et très régulière, qu'il est absolument inutile d'enregistrer. Mais depuis deux ans presque toutes les lignes françaises ont mis à l'essai des systèmes auto-générateurs, dans lesquels chaque voiture est munie d'une petite dynamo recevant son mouvement de l'essieu et couplée en parallèle avec une petite batterie d'accumulateurs pour alimenter les lampes(1). A l'arrêt et aux faibles vitesses les accumulateurs desservent seuls les lampes ; à partir d'une certaine vitesse la dynamo est mise en circuit par la manœuvre d'un conjoncteur-disjoncteur et fournit le courant d'éclairage aux lampes et un courant de charge plus ou moins fort aux accumulateurs. Quoique ceux-ci agissent comme batterie-tampon, on comprend que la tension doit subir automatiquement un premier réglage lorsque la vitesse du train varie, par exemple, de 30 à 100 km : h. Les procédés de régulation et de couplage automatiques de la dynamo varient suivant les systèmes ; ils sont mécaniques dans le système anglais Stone et électriques dans les systèmes français Auvert et Vicarino. Malgré la double régulation donnée par la dynamo et les accumulateurs, il se produit encore souvent des variations sensibles de la tension aux bornes des lampes; en tous cas il est nécessaire de vérifier cette tension pendant la période de début où l'on doit procéder au réglage des divers organes. On a tracé d'abord la courbe de tension aux lampes par points, en faisant des lectures sur un voltmètre, à intervalles très rapprochés, deux minutes par exemple. Mais ces relevés, effectués de nuit, pendant des périodes de sept à dix heures, sont pénibles et exigent de réserver un compartiment; c'est pourquoi j'ai cherché au commencement de l'année à les remplacer par l'enregistrement direct de la courbe du voltage; M. Auvert, ingénieur du P.-L.-M., a eu, à peu près à la même époque, l'idée de faire usage d'un voltmètre enregistreur.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 460, 23 septembre 1899.

On pourrait également enregistrer le débit essentiellement variable de la dynamo, mais ce serait une complication peu justifiée que de faire usage de deux appareils enregistreurs à la fois, car en réalité il n'y a pas grand intérêt à connaître les valeurs instantanées du courant de la dynamo; ce qu'il importe seulement c'est de savoir la quantité totale d'électricité fournie pendant un voyage complet, afin d'évaluer si la quantité fournie aux accumulateurs pendant la marche du train est suffisante pour compenser la quantité fournie par la batterie seule pendant les arrêts. Cette dernière est facile à calculer puisque le courant consommé par les lampes est constant et que l'on peut relever distinctement sur la courbe de la tension les temps d'arrêt. J'ai cherché à obtenir sur les voitures en essai aux chemins de fer de l'Est la quantité d'électricité fournie pendant un voyage à l'aide d'un compteur O'K fixé dans la voiture et muni d'une suspension à ressorts et à boule de caoutchouc ; les indications données par le compteur, sans être rigoureusement exactes, à causedutrouble apporté par les trépidations, ont une approximation généralement suffisante pour le but cherché.

Au P.-L.-M., on se sert d'un voltmètre enregistreur Richard à ressorts, dont le piston amortisseur plein plonge dans la glycérine pure et dont le cylindre fait un tour en deux heures. L'appareil n'est même pas placé sur les banquettes, mais simplement posé sur le plancher de la voiture ou sur un banc en bois, avec interposition d'un tapis. On m'a montré des courbes, obtenues avec cet appareil, qui affectent la forme d'un trait fin, sans bavure aucune ; 5 minutes sont représentées par une distance de 11 mm et 1 volt par une hauteur de 2,5 mm. Par suite de la rapidité relativement grande de déroulement, la composante de frottement de la plume est faible comparée à la composante de déroulement ; il ne peut se produire d'hystérésis de la plume dû au frottement et c'est pourquoi le trait est si net. L'aspect des courbes semble indiquer que l'amortissement cause peu ou point d'hystérésis dans l'inscription ; plusieurs causes influent sur ce résultat : d'abord la valeur assez élevée de la composante de déroulement dans le mouvement louvoyant auquel est soumis la plume ; ensuite etsurtout la valeur élevée que le constructeur a pu donner au couple résistant et par suite au couple déviant (environ 50 gr-cm) parce que la hauteur de la feuille correspond à une forte variation de la tension, de 0 à 40 volts. Par contre, les causes favorables à la bonne inscription entraînent deux inconvénients : le plus important est l'impossibilité d'abandonner l'appareil seul, puisqu'au bout de deux heures le cylindre a effectué un tour complet : en second lieu la sensibilité obtenue sur la courbe n'est pas très grande (1 volt est figuré par 3 mm) pour l'observation d'un phénomène qui ne donne lieu souvent qu'à des variations d'environ 1 volt en dessus ou en dessous de la moyenne. On a constaté encore deux autres inconvénients de l'appareil : il manifeste une hystérésis sensible par magnétisme rémanent, de sorte que les chutes de potentiel brusques ne sont pas enregistrées complètement et sont atténuées sur la courbe ; en outre l'étalonnage du voltmètre varie au bout de peu de temps, probablement par suite de l'altération des ressorts, ce qui oblige à des réglages assez fréquents de ces ressorts et enlève de la précision aux valeurs absolues données par l'appareil.

Le voltmètre enregistreur employé à l'Est, du même type Richard à ressort, a l'avantage de pouvoir fournir, sans surveillance en cours de route, le relevé d'une nuit d'éclairage, car il ne fait qu'un tour en douze heures ; il peut même fournir le relevé de deux nuits successives, c'est-à-dire faire un trait pendant trente-six heures sans que la plume ait besoin d'être rechargée ; après un tour complet le tambour continue sa rotation, car l'aiguille peut franchir la barrette à bords chanfreinés qui retient le papier, et les courbes se superposent. Sa sensibilité est assez grande, car 1 volt est représenté sur la courbe par 5 mm. Dans ces conditions l'échelle de la feuille s'étend d'environ 12 à 30 volts; mais l'appareil a été construit de façon à donner également une déviation double, de 6 à 15 volts, 1 volt étant alors représenté par 10 mm, ceci dans le but de pouvoir faire des décharges d'un nombre variable de boîtes de quatre éléments. Par conséquent la sensibilité réelle de ce voltmètre est quatre fois celle du voltmètre du P.-L.-M. (car la sensibilité réduite de 12 à 30 volts est obtenue par un shunt en résistance morte) ; les dimensions et la finesse de l'enroulement des bobines étant limitées à peu près aux mêmes valeurs dans les deux appareils, il en

***

résulte que si le nombre d'ampères-tours était le même, l'appareil de l'Est devrait, pour donner une sensibilité quatre fois plus grande que celui du P.-L.-M., avoir un couple résistant quatre fois plus petit ; on peut admettre que l'on a augmenté les ampères-tours du premier en employant du fil un peu plus fin et en augmentant l'enroulement jusqu'à la limite d'encombrement ; toutefois il est probable que le couple résistant, et par suite le couple déviant, est encore deux à trois fois plus petit, soit par exemple 25 à 32 gr-cm. Ces deux conditions, déviation plus grande de l'aiguille et couple déviant plus petit n'auraient pas d'influence sur un appareil fixe à poids, mais sur un appareil à ressorts destiné à recevoir des trépidations, elles exercent chacune deux actions défavorables pour la bonne marche de l'appareil. Les déviations de l'aiguille étant quatre fois plus grandes pour une même variation de voltage, l'appareil est beaucoup plus sensible aux oscillations et demande, pour la netteté du trait un amortissement beaucoup plus grand ; d'autre part, la déviation étant produite par une force deux à trois fois plus petite, la force d'amortissement due au frottement et à la viscosité du liquide sur le piston peut finir par être de l'ordre de grandeur de la force déviante et affecter celle-ci d'une certaine hystérésis que j'appellerai hystérésis d'amortissement ; les expériences ont montré que l'appareil se trouve précisément dans une sorte d'état critique dont je ne me doutais pas et qui en a rendu le réglage assez difficile.

Le constructeur, qui avait étalonné l'appareil au laboratoire, m'avait prévenu que pour éviter de l'hystérésis dans l'inscription, il suffisait, comme amortisseur, d'une simple tige de 2 mm de diamètre plongeant dans de la glycérine ; le résultat obtenu a été reproduit en *a* (fig. 12) ; le trait a l'épaisseur d'un demi-volt et présente en certains points des oscillations de 3 volts ; il est impossible de lire les variations instantanées de la tension ; on ne voit que vaguement l'allure générale de la courbe. Dans ce cas, l'amortissement est insuffisant pour empêcher les oscillations de l'aiguille sous l'influence des trépidations de la marche. J'ai alors fixé à l'extrémité de la tige un piston de 20 mm de diamètre et 0,5 mm d'épaisseur, plongeant dans le cylindre de 25 mm de diamètre intérieur rempli de glycérine pure. Cette fois-ci les trépidations n'avaient plus d'influence sur le trait bien net, mais le point critique était dépassé, l'amortissement avait pris une telle importance qu'il éteignait non seulement les oscillations dues aux trépidations mais encore les déviations normales de l'aiguille : le trait (voir courbe *b* fig. 12) représente une tension presque constante tandis qu'en réalité les relevés directs indiquent qu'elle avait varié fortement et un grand nombre de fois. Pour diminuer l'amortissement trop grand, j'ai conservé la glycérine pure, mais j'ai percé dans le piston de 20 mm de diamètre quatre trous de 2 mm ; j'ai obtenu ainsi (voir courbe *c* de la fig. 12) un trait parfaitement net et qui suit toutes les variations du voltage. Dans ces expériences, l'appareil avait été abandonné à lui-même dans une armoire de la voiture et placé, par analogie à ce qui s'était fait sur les tramways, sur un plateau suspendu en haut et en bas par deux grosses lanières de caoutchouc fortement tendues, employées dans le but de fournir un premier amortissement des vibrations de grande amplitude. Les diagrammes obtenus après la courbe *c* ont présenté des traits de plus en plus gros, allant jusqu'à l'épaisseur[1] de la courbe *d* ; cette diminution de netteté du trait ne peut s'expliquer autrement que par l'avachissement des lanières de caoutchouc. J'ai fait alors un essai en posant l'appareil sur une banquette de la voiture, puis je l'ai abandonné sur le plancher de l'armoire, sans interposition d'aucun tapis ; la courbe *f* de la figure 13 a été obtenue dans le premier cas et la courbe *g* de la figure 14, dans le second ; ces courbes de tension étant prises sur des accumulateurs isolés qui donnent à la décharge une différence de potentiel absolument régulière, l'épaisseur du trait donne la mesure des effets de trépidations ; on voit que le coussin n'exerce pas d'influence appréciable et que l'appareil reposant simplement sur ses pieds donne un trait plus net (courbe de la fig. 14) que lorsqu'il est suspendu sur des lanières de caoutchouc un peu fatiguées (courbe *d* de la fig. 14). Ces lanières semblent donc, lorsqu'elles ne sont pas très fortement tendues, avoir plutôt un effet nuisible : au lieu d'amortir les trépidations elles les ampli-

[1] Les courbes représentées sur les figures 12 à 18 du journal ont été calquées très soigneusement sur les courbes originales, mais comme les planches ont été réduites par la photographie d'un tiers environ, il en résulte que pour se rendre compte de l'épaisseur absolue des traits des courbes originales, il faudrait supposer augmentée d'un tiers l'épaisseur de tous les traits indiqués sur les figures.

fient en prenant un mouvement d'oscillation propre ; par suite elles ont été abandonnées. J'ai effectué une autre série d'essais en laissant l'appareil posé sur le plancher et en faisant varier l'amortissement liquide. Nous avons vu précédemment qu'un piston plein plongeant dans la glycérine pure donne un amortissement trop grand (voir par exemple *h* trait de la fig. 15) et qu'on a un bon amortissement avec un piston percé de quatre trous plongeant dans la glycérine pure ; j'ai obtenu le même résultat satisfaisant en réalisant d'autre manière un amortissement moyen, par l'emploi

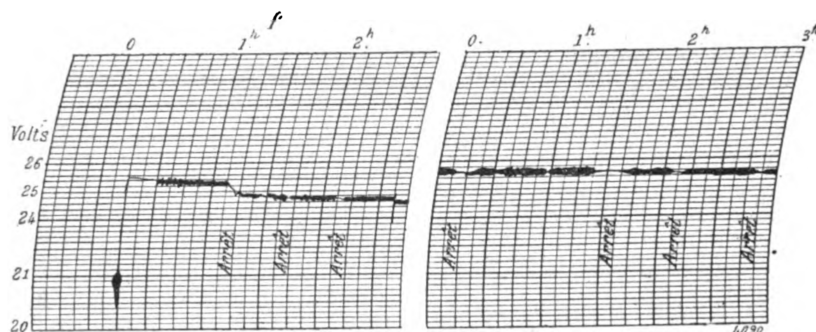


Fig. 13 et 14.

d'un piston plein plongeant dans de la glycérine additionnée de moitié d'eau (trait *i* de la fig. 15) ; en mettant le piston plein dans de l'eau pure, le trait a conservé à peu près la même netteté (courbe *l* de la fig. 15), ce qui semble indiquer qu'au-dessous d'un certain degré de viscosité l'amortissement ne varie presque pas avec la composition du liquide et varie plutôt en fonction de la surface de contact. A partir de ce moment l'appareil a toujours été employé avec un simple piston plein plongeant dans de l'eau pure.

La comparaison des graphiques donnés par l'appareil bien réglé avec les courbes relevées directement montre que les élévations de voltage sont exactement indiquées par l'enregistreur,

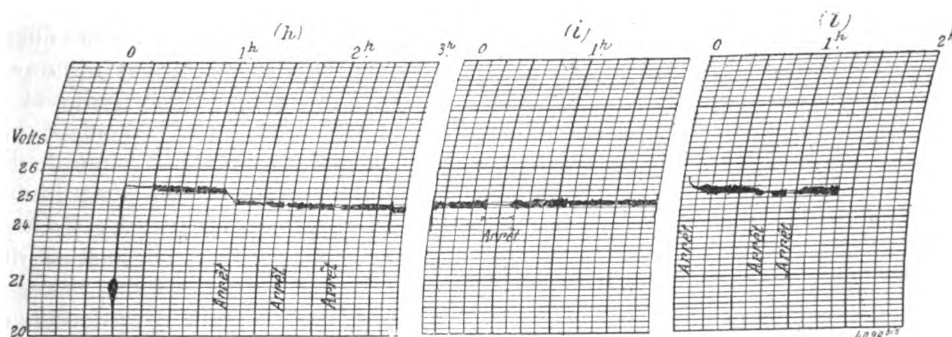


Fig. 15.

mais que celui-ci donne pour les chutes de voltage brusques une valeur inférieure d'environ 0,3 volt (soit 1,5 mm sur la feuille) à la valeur mesurée. Le fait n'est pas dû à l'amortissement et provient simplement de l'hystérésis magnétique du voltmètre, car j'ai relevé sur l'appareil au repos et démuni de son piston des retards de 0,3 à 0,4 volt lorsque la tension décroît. Cette légère « atténuation » dans les parties basses de la courbe n'est d'ailleurs pas très importante.

Un inconvénient beaucoup plus grave constaté sur l'appareil, c'est qu'il se dérègle rapidement et présente alors des variations d'étalonnage d'un volt, qui ne permettent pas de compter sur la courbe enregistrée au point de vue des valeurs absolues. Le fait provient de l'avachissement des ressorts antagonistes qui, dans l'appareil considéré, sont très faibles et que l'on voit vibrer fortement pendant la marche du train.

Toutefois l'appareil a donné des indications précieuses sur le fonctionnement des systèmes autogénérateurs d'éclairage électrique des voitures, car s'il ne fournit pas la valeur absolue exacte de la tension, il indique avec une précision grandement suffisante toutes les variations de cette tension. La courbe *c* de la figure 12 rend très bien compte des diverses phases de l'éclairage : lorsque le train se met en marche, il y a une chute brusque de 0,5 volt au moment où la dynamo est mise en circuit, à cause de la résistance intercalée en même temps dans le circuit des lampes ; au fur et à mesure que la vitesse augmente, la tension monte de 0,8 volt au-dessus de la moyenne ; la diminution s'est produite pendant une forte rampe, elle est suivie par une élévation de 1,5 volt pendant une forte descente ; à chaque arrêt la tension retombe à la valeur normale de différence de potentiel de la batterie et le petit palier correspond à la durée de l'arrêt pendant lequel le courant est fourni par les accumulateurs seuls. Non seulement l'appareil indique si les écarts de voltage des lampes sont acceptables, mais il enregistre les anomalies de fonctionnement du système d'éclairage. Le trait trop régulier *m* de la figure 16 signifie que la dynamo a cessé, à partir de 10 heures 40, de fournir du courant, qui n'est plus débité que par les accumulateurs ; en effet, on a constaté, au retour de la voiture, que le galet de commande de la dynamo était recouvert de givre et la courbe a fait voir que ce givre avait causé un manque d'entraînement complet de la machine. Un autre cas curieux a été relevé grâce à l'enregistreur. Au retour d'un voyage on constata que la batterie régulatrice était complètement épuisée, mais rien dans les appareils ne permettait de connaître ce qui s'était passé ; l'épuisement pouvait provenir aussi bien d'un court-circuit dans la canalisation ou les accumulateurs que d'un mauvais fonctionnement des appareils spéciaux d'éclairage ; le simple examen de la courbe du voltmètre enregistreur (voir fig. 17) fournit l'explication du phénomène. A chaque arrêt, le disjoncteur doit couper automatiquement, par la chute d'une armature, le circuit reliant la dynamo aux accumulateurs et aux lampes. La chute graduelle de tension aux bornes des lampes, de 24 à 17 volts, que l'on remarque sur la courbe pendant le stationnement, au retour, de Nancy, indique qu'à l'arrivée dans cette gare l'armature du disjoncteur n'est pas tombée : la dynamo étant alors restée reliée aux accumulateurs, ceux-ci se sont déchargés dans la dynamo et se sont trouvés très vite épuisés, d'où la chute considérable de tension de la batterie et des lampes à la fin du long arrêt de Nancy. Lorsque le train s'est remis en marche, l'éclairage a repris sa valeur normale de 24 volts (la feuille n'ayant pas été changée, le trait reprend, après douze heures de marche, à gauche et se superpose à peu près à la courbe de départ) le courant étant alors fourni par la dynamo en mouvement ; mais au prochain arrêt et à tous les autres on voit la tension retomber très bas, ce qui indique que les accumulateurs se sont toujours trouvés en court-circuit c'est-à-dire que le disjoncteur est resté chaque fois collé.

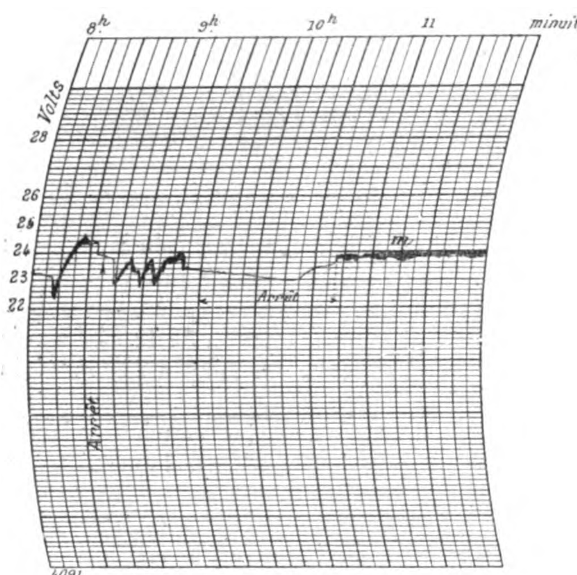


Fig. 16. — Courbe relevée à l'aide d'un voltmètre enregistreur Richard, sur une voiture de chemin de fer. Arrêt dans la commande de la dynamo d'éclairage.

De même que sur les tramways, l'enregistreur n'a d'utilité sur les voitures de chemins de fer que pendant la période initiale de mise en route des appareils autogénérateurs d'éclairage sur différents parcours et, lorsque plusieurs voitures effectuent le même roulement, on se contente d'installer l'appareil sur une voiture. Lorsque les appareils sont bien réglés, il n'y a plus besoin de faire usage de l'enregistreur que de temps en temps, pour vérifier que le fonctionnement du système reste bon.

J'ai également fait quelques essais, qui malheureusement n'ont pas pu être achevés, sur les voitures de chemins de fer, à l'aide d'un voltmètre enregistreur Meylan, du type horizontal, semblable à l'ampèremètre enregistreur employé sur les tramways et représenté sur la figure 10. L'appareil avait été construit pour faire un tour en vingt-quatre heures et la hauteur de la feuille correspondait à 30 volts, ce qui faisait 4 mm par volt, soit à peu près la même échelle que dans l'appareil Richard. L'appareil a été posé simplement sur la banquette d'une voiture. En réglant la plume de façon à ce qu'elle appuie très peu sur le papier, par exemple de manière à ce que la courbe d'hystérésis de frottement (obtenue en faisant tourner le tambour avec l'aiguille au repos), n'ait que 1 mm environ de hauteur, on n'obtenait en marche aucun trait, mais une suite de pâtés, à cause des vibrations considérables qu'éprouvait la plume. Au fur et à mesure qu'on augmentait la pression de l'aiguille sur le papier, le trait diminuait d'épaisseur. La figure 18 reproduit une courbe très nette obtenue dans ces conditions. Cette courbe est deux fois plus serrée que celle du voltmètre Richard et elle doit être lue de droite à gauche ou regardée par transparence [1]. Pour avoir cette netteté de trait il a fallu donner à l'aiguille une pression très forte qui a produit une forte hystérésis de frottement. A l'arrivée du train au point terminus, l'aiguille a touché le zéro en p puis est remontée insensiblement jusqu'en m pendant le déroulement du cylindre. Cette ascension de l'aiguille, qui s'est opérée malgré que la tension restait nulle, est due à un mouvement louvoyant : la force de frottement de l'aiguille étant du même ordre de grandeur que la force

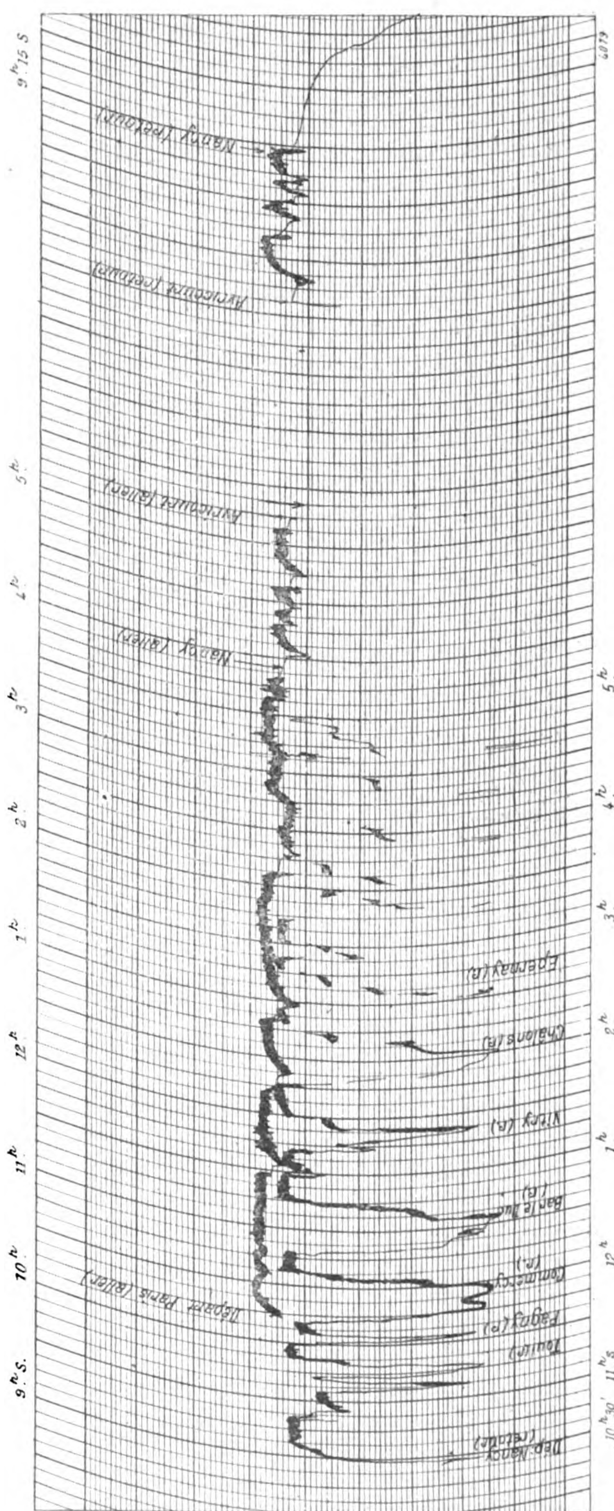


Fig. 17. — Courbe relevée à l'aide d'un voltmètre enregistreur Richard, sur une voiture de chemin de fer. Mauvais fonctionnement du disjoncteur de la dynamo d'éclairage.

[1] Par suite d'une erreur, la flèche qui sur la figure 18, a sa pointe en haut, indique le voyage de « retour » et non pas l'aller.

de déroulement du cylindre s'est composée avec celle-ci en donnant un mouvement oblique à l'aiguille jusqu'à ce qu'un état d'équilibre (correspondant à l'ordonnée m^1 ait été établi. Ce qu'il y a de curieux c'est que cette hystérésis considérable de frottement n'a produit aucune déformation dans la courbe ; en comparant celle-ci avec les relevés directs, on constate qu'elle indique exactement et sans la légère « atténuation » que l'on trouvait aux pointes inférieures des courbes Richard, toutes les variations de la tension ; ceci peut s'expliquer par le fait que, sous tension, l'effort de frottement de l'aiguille devient négligeable par rapport à l'effort déviant, surtout en

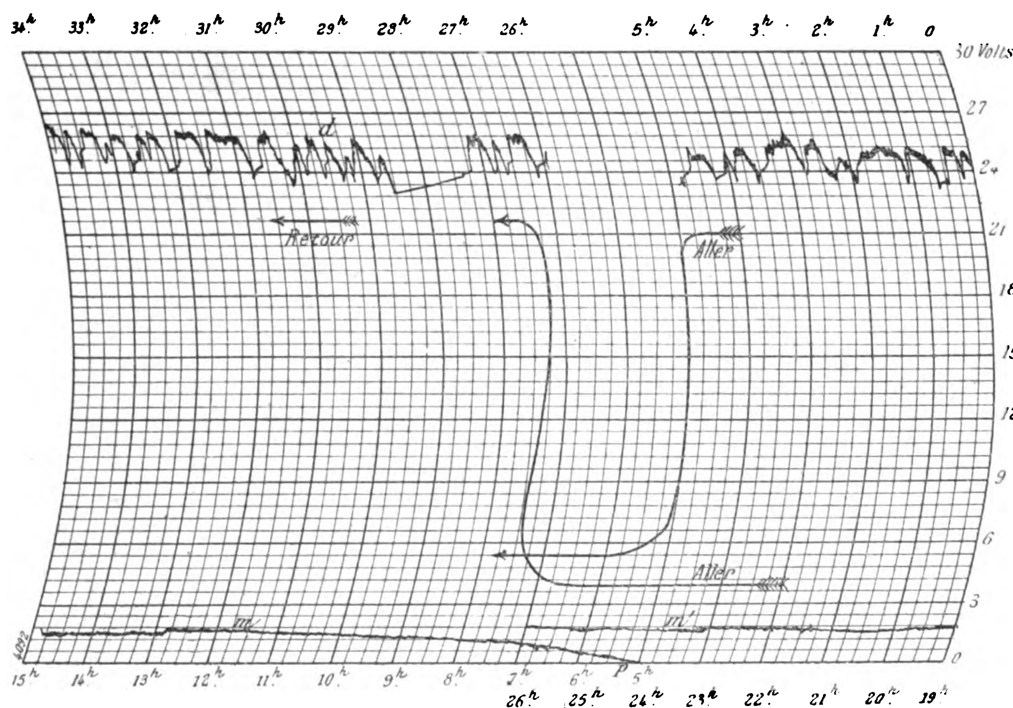


Fig. 18. — Courbe relevée à l'aide d'un voltmètre enregistreur Meylan sur une voiture de chemin de fer.

présence des trépidations continuelles du train. Les indications données par l'appareil, même avec une grande pression de l'aiguille, paraissent donc bien exactes ; toutefois, M. Meylan, qui m'avait prêté l'appareil, a jugé qu'il ne fonctionnait pas dans ces conditions d'une manière normale et pouvait se déranger, et l'a repris avec intention de modifier l'attache de l'aiguille en forme de lame ondulée, qui peut convenir sur des appareils fixes mais qui, sur des véhicules de chemins de fer, communique un mouvement vibratoire à la plume. Entre temps M. Meylan, absorbé par d'autres travaux, n'a pu donner suite à son idée, du moins pour le moment. C'est dommage que les voltmètres enregistreurs Meylan n'aient pu être mis entièrement au point pour l'usage des voitures de chemins de fer, car s'ils demanderont probablement toujours un soin plus grand que les appareils Richard dans l'application de la plume sur le papier, ils présentent sur ceux-ci, cela résulte du procédé même de construction des appareils et a été confirmé par les essais, l'avantage de ne donner aucune hystérésis dans l'inscription de la courbe et surtout de ne pas subir de variation dans l'étalonnage du voltmètre.

En tout cas, que l'on fasse usage de l'un ou l'autre système, on est certain, maintenant que les voltmètres enregistreurs peuvent fonctionner sans difficulté et dans de bonnes conditions sur des voitures de chemins de fer (qui représentent le matériel roulant le plus défavorable), qu'ils y seront employés de plus en plus, en raison de l'extension que prennent dans l'éclairage des trains les systèmes électriques autogénérateurs.

Ch. Jacquin.

VOITURES POUR CHEMINS DE FER A GRANDE VITESSE

On a pu lire récemment dans *L'Éclairage Électrique* (t. XXIX, p. 133) une analyse de l'article paru sur ce sujet dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, sous la signature de M. O. Lasche. La question de l'adaptation des moteurs électriques aux voitures de chemin de fer, en vue d'obtenir des vitesses très élevées, est trop importante pour qu'on ne nous pardonne pas de revenir sur le travail de M. Lasche, en insistant en particulier sur les études. Grâce à la complaisance de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft, qui a bien voulu nous prêter les nombreux clichés qui illustraient ce travail, nos lecteurs pourront d'ailleurs mieux se rendre compte des dispositifs adoptés par cette Compagnie dans la construction des voitures en essai à Zoossen.

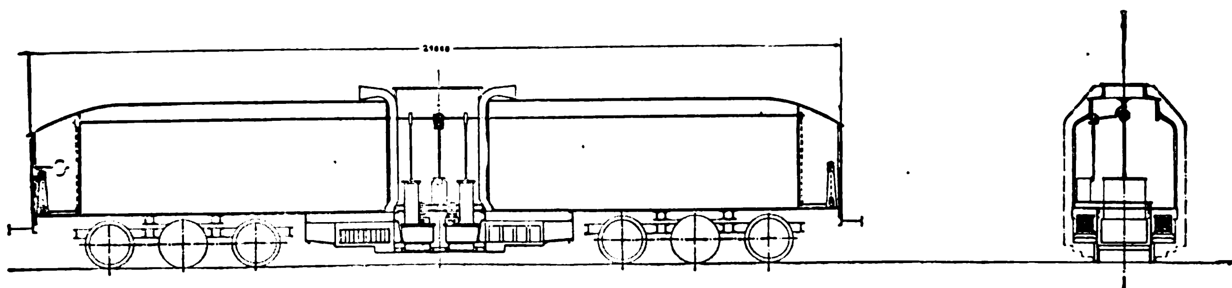


Fig. 1. — Schéma de la voiture exécutée.

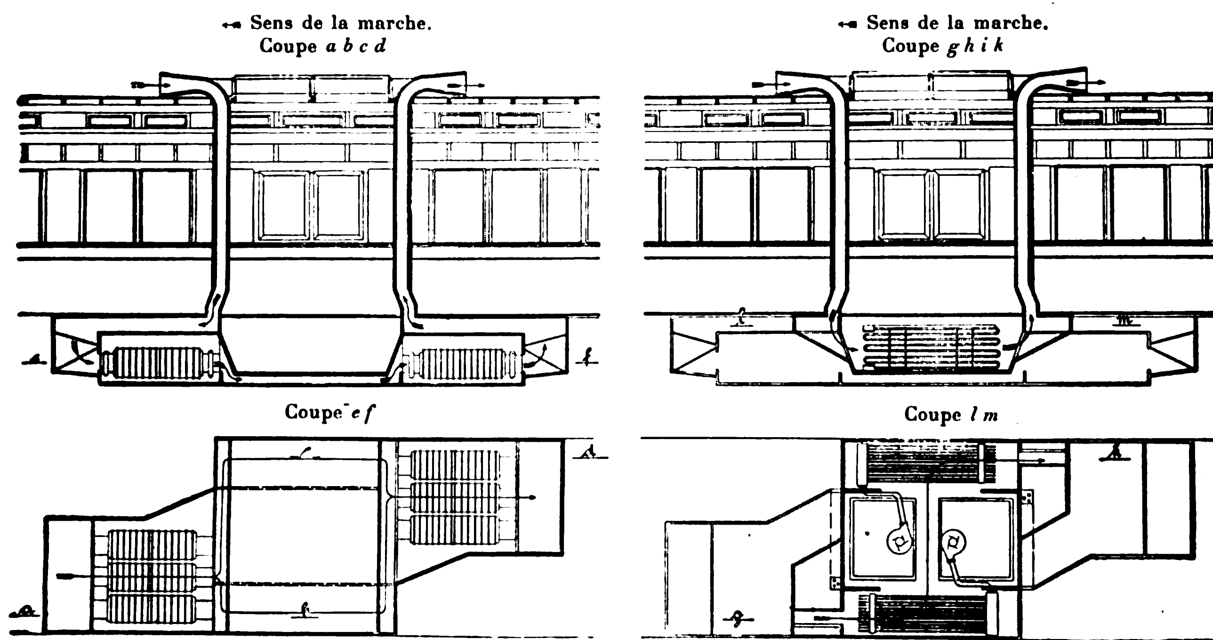


Fig. 2. — Refroidissement des transformateurs et appareil de démarrage.

I. Études. — 1. *Poids de l'équipement électrique.* — Trois dispositions de voitures ont été essayées. L'une (n° 1) comportait deux cabines pour le mécanicien. Ces cabines se trouvaient à

'extrémité du véhicule et renfermaient chacune un appareil de démarrage, et la moitié de la batterie d'accumulateurs servant au freinage et à l'éclairage. La longueur de la voiture était de 25 m, les transformateurs étaient placés en dessous et au milieu, les résistances, de part et d'autre des transformateurs. Il y avait six essieux, disposés par deux trucks de trois essieux.

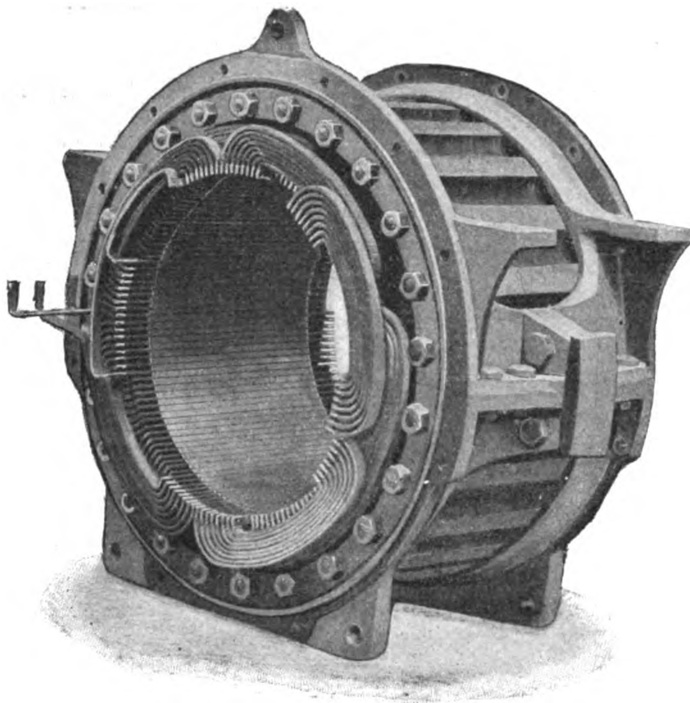


Fig. 3. — Refroidissement du fer du moteur.

La seconde (n° 2) comportait une cabine centrale pour le mécanicien, dans laquelle étaient réunis tous les appareils, sauf les transformateurs, les accumulateurs et les résistances, qui étaient groupés sous la voiture. La longueur de la voiture était de 21 m, les trucks étaient les mêmes que précédemment.

La troisième (n° 3), à laquelle on s'est arrêté, comporte deux cabines pour le mécanicien, une à chaque extrémité de la voiture, et une chambre centrale où est disposé l'appareil de démarrage. Les transformateurs, les refroidisseurs de l'eau de l'appareil de démarrage sont sous la voiture ; chaque cabine de mécanicien ne comporte qu'un volant qui commande, à l'aide d'une transmission, l'appareil de démarrage (fig. 1). Les transformateurs sont ventilés, ainsi que les refroidisseurs, par de l'air mis en mouvement par la marche même de la voiture (fig. 2).

Le tableau suivant indique les poids de l'équipement pour chacun des trois cas :

	POIDS EN KILOGRAMMES		
	I	II	III
Moteurs	16 000	16 000	12 800
2 Transformateurs	13 000	13 000	6 500
Résistances de démarrage avec leur enveloppe Appareils de démarrage avec leur commande	9 000	9 000	4 750
Batteries pour le freinage et l'éclairage	2 600	2 600	2 600
Moteur et compresseur	800	800	800
Pompe à huile	200	200	—
Réservoir d'huile	600	600	—
Poids total du câblage	4 000	1 000	1 000
Prise de courant	1 400	1 400	1 400
Total	47 600	44 600	29 850

La diminution de poids en faveur de la troisième solution provient de ce que les moteurs n'ont pas d'enveloppe (fig. 3), de ce que les transformateurs sont ventilés et ne pèsent que 6,5 kg par kilowatt, de ce que le dispositif de démarrage est unique et enfin de ce qu'on a supprimé le graissage sous pression.

La voiture complète pèse 90 tonnes, soit 1 800 kg par voyageur.

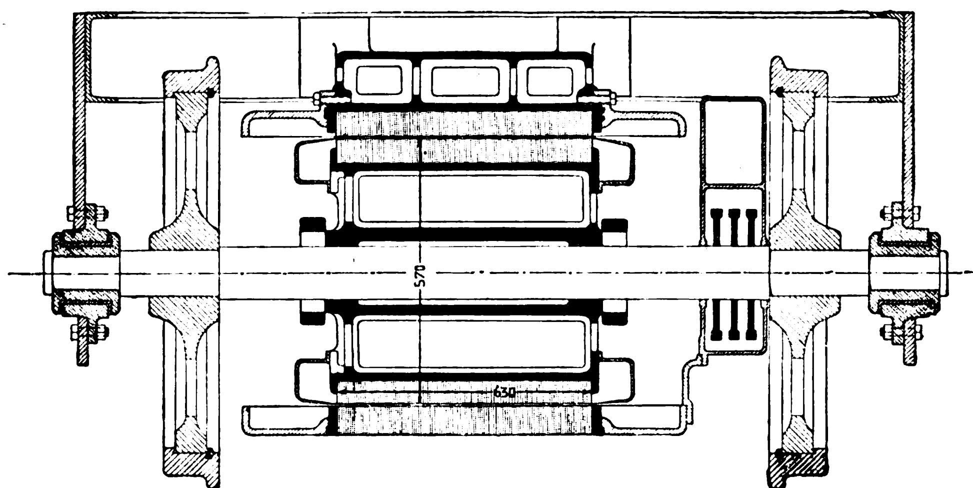


Fig. 4. — Moteur et châssis rigidement liés à l'essieu.

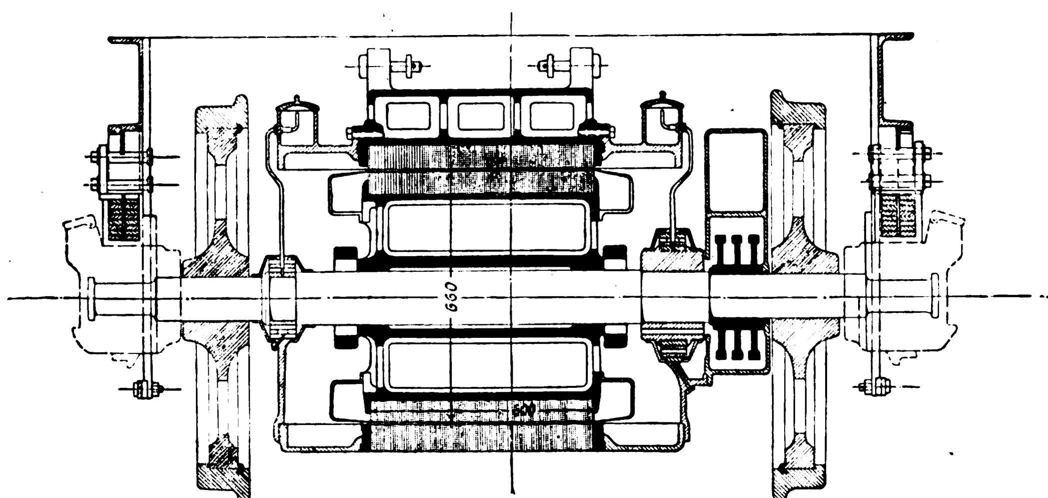


Fig. 5. — Moteur rigidement fixé, châssis à ressorts.

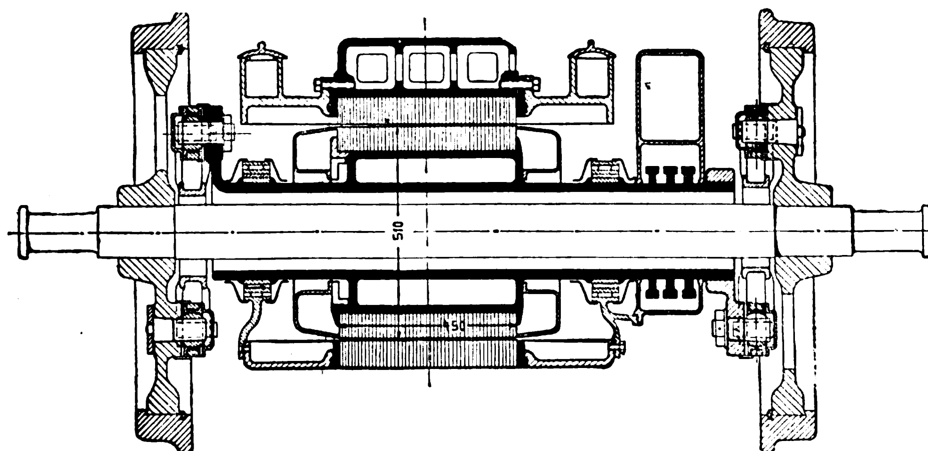


Fig. 6. — Moteur fixé à un châssis à ressorts.

****

2. *Disposition des moteurs par rapport aux essieux.* — On a étudié un certain nombre de dispositions.

Les figures 4, 5, 6 montrent trois dispositions de moteurs Gearless sur voitures pour voie de 1 m ; la première disposition ne permet aucun déplacement relatif du moteur par rapport au châssis, et les coussinets des boîtes à huile doivent assurer le centrage de la partie mobile de ce moteur. Le second mode de fixation du moteur est préférable, la partie mobile étant portée par l'essieu lui-même. La figure 6 représente enfin un montage qui rend le moteur indépendant de l'essieu. La partie fixe du moteur est fixée au châssis de la voiture, la partie mobile, montée sur arbre creux concentrique à l'essieu, entraîne ce dernier par un accouplement élastique.

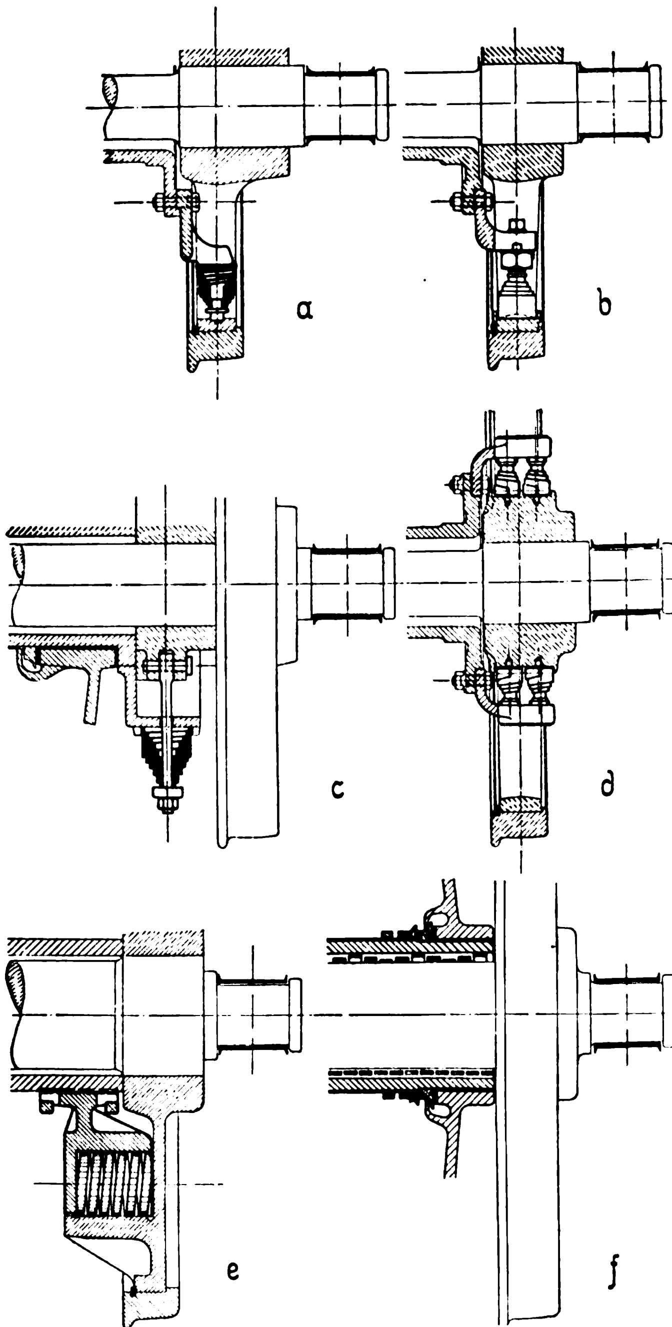


Fig. 7. — Suspension du moteur par des petits ressorts.

En essayant ce dernier moyen, on eut à examiner un certain nombre d'accouplements élastiques que représente la figure 7 et qui n'ont pas besoin d'explications détaillées. Aucun de ces dispositifs ne fut reconnu assez sûr et tous furent rejetés.

On eut encore l'idée d'employer des roues de grand diamètre et de fixer le moteur sur leur moyeu. C'est ce que représente la figure 8. L'emploi de roues de grand diamètre avait un inconvénient, c'était d'obliger à remonter fortement le pivot du bogie à trois essieux qui supporte chaque extrémité de la voiture, et par suite tout l'espace au-dessus de ce bogie était perdu pour les voyageurs.

On dut faire une étude analogue avec des roues de faible diamètre : 1,250 m (fig. 9). Leur vitesse était de 1 250 tours par minute et la partie fixe du moteur épousait presque le gabarit normal. Malheureusement, cette solution était coûteuse et entraînait un poids de moteurs trop élevé, sans compter que l'amenée du courant à un si grand nombre de moteurs extérieurs était compliquée.

La liaison élastique entre les moteurs et le châssis offrit de grandes difficultés. Il s'agissait de limiter à quelques millimètres la flèche admissible pour les ressorts ; de plus, on devait s'opposer à la réaction du stator aussi bien dans la marche avant que dans la marche arrière. Nous verrons

plus loin comment on a surmonté toutes ces difficultés et comment l'emploi de l'accouplement représenté sur la figure 10 a pu être rendu possible. A chaque extrémité de l'arbre creux, on dispose une bague en trois pièces dont chacune porte un double bras constitué de lames de ressort ;

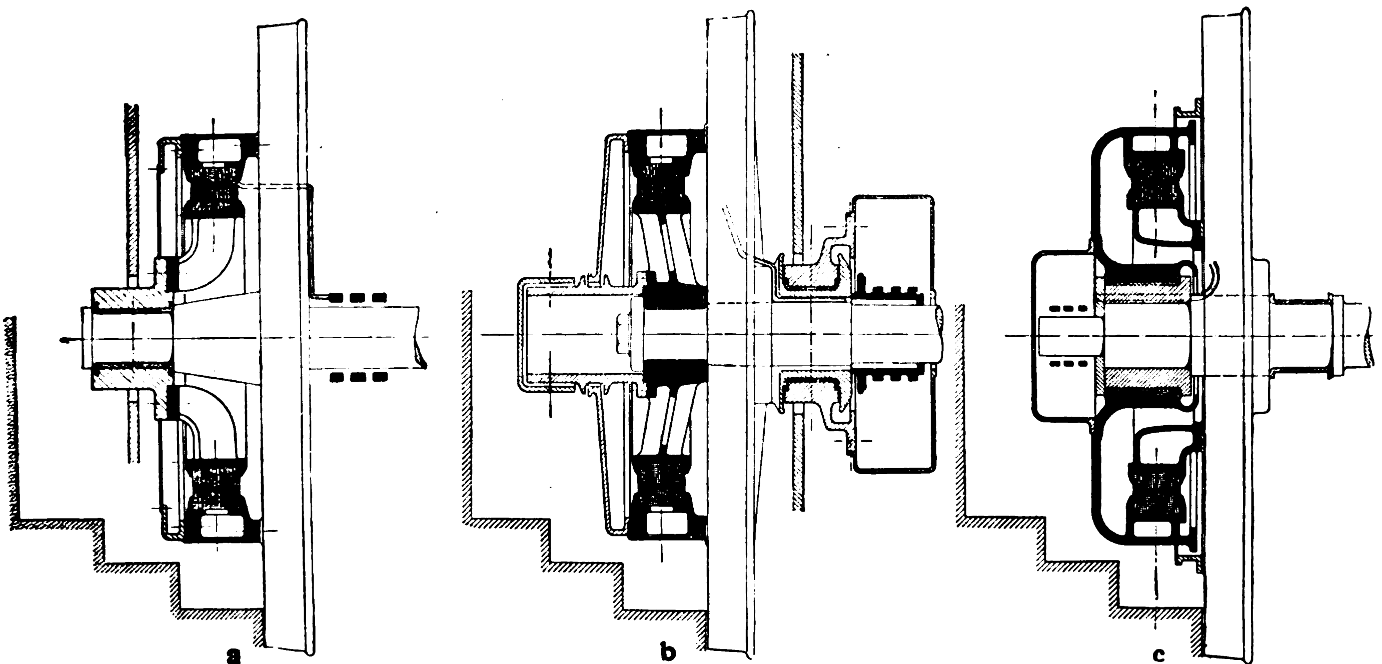


Fig. 8. — Moteur fixé au moyeu de grandes roues.

l'extrémité de ces bras bute contre des glissières qui font partie de la roue. Il a fallu prendre des dispositions pour que le glissement n'absorbe pas trop de puissance. La figure 11 indique la solution adoptée, par laquelle la perte de puissance est pratiquement annulée.

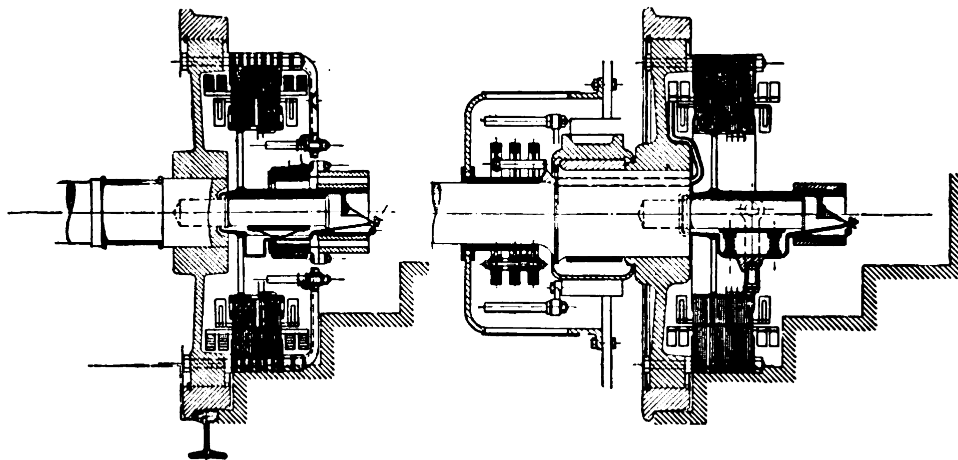


Fig. 9. — Moteur fixé au moyeu de petites roues.

On fit également des essais sur le graissage des paliers : le graissage sous pression exigeait toute une canalisation d'huile, à joints élastiques. On chercha alors à employer un graissage sans pression artificielle, en disposant concentriquement à l'arbre un disque plat qui ramenait bien

l'huile, sans l'émulsionner. Les figures 12 et 13 représentent les résultats des essais rapportés à un système de trois coordonnées rectangulaires. Les courbes de la figure 12 représentent la relation entre le coefficient de frottement et la vitesse à différentes températures ; celles de la figure 13 la relation entre le coefficient de frottement et la température à différentes vitesses.

3. *Dispositifs de démarrage.* — Comme nous l'avons vu, on fut amené à disposer l'appareil de démarrage au milieu du véhicule, afin de diminuer l'importance du câblage.

Le circuit primaire n'a besoin que d'un commutateur permettant de mettre le moteur hors circuit, de changer son sens de marche, ou encore d'y envoyer le courant d'une batterie d'accumulateurs pour le freinage.

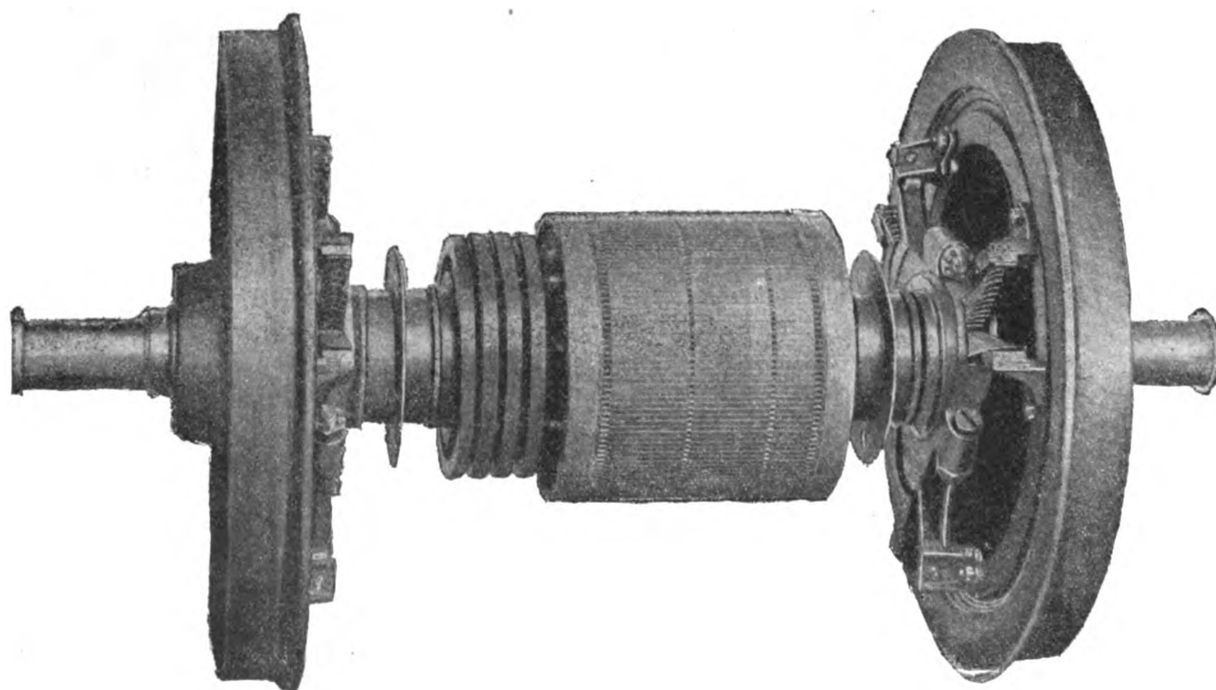


Fig. 10. — Accouplement à ressorts avec glissières.

Pour le démarrage et le réglage de la vitesse, on a toujours envisagé l'emploi de résistances liquides. Toutefois, les modèles courants étaient peu commodes, surtout à cause de l'échauffement du liquide. Pour un tel appareil, il faut d'ailleurs éviter des courts-circuits entre électrodes et ne pas augmenter outre mesure les dimensions d'encombrement ; en outre, lorsque le moteur a sa pleine vitesse, il est utile de faire passer le courant par un circuit aussi peu résistant que possible. Pour diminuer le nombre des circuits, on bobina les rotors en diphasé. Le principe de l'appareil de démarrage et de réglage employé est le suivant. Une pompe centrifuge, commandée par un moteur de un quart de cheval, puise le liquide dans un réservoir et le refoule constamment dans le vase où sont disposées les électrodes, c'est-à-dire les extrémités des circuits du rotor. La pompe est continuellement en marche, de sorte que le liquide est brassé et renouvelé sans arrêt. Ce vase porte à sa partie inférieure une soupape dont l'ouverture peut être réglée à volonté. Si on la ferme, le liquide monte, touche les électrodes et le moteur se met en marche. Le liquide continuant son ascension, la résistance diminue et le moteur prend de la vitesse. En disposant un trop plein à la hauteur convenable, on peut arriver à régler très exactement la vitesse du moteur.

Les électrodes, en tôle, sont très éloignées l'une de l'autre à la partie inférieure et elles sont découpées de dents de hauteur décroissante. La dent la plus longue d'une électrode est diagonalement opposée à la dent la plus longue de l'électrode voisine ; de la sorte, au début, la surface de

contact est faible et le chemin que doit parcourir le courant dans le liquide est grand. Par contre,

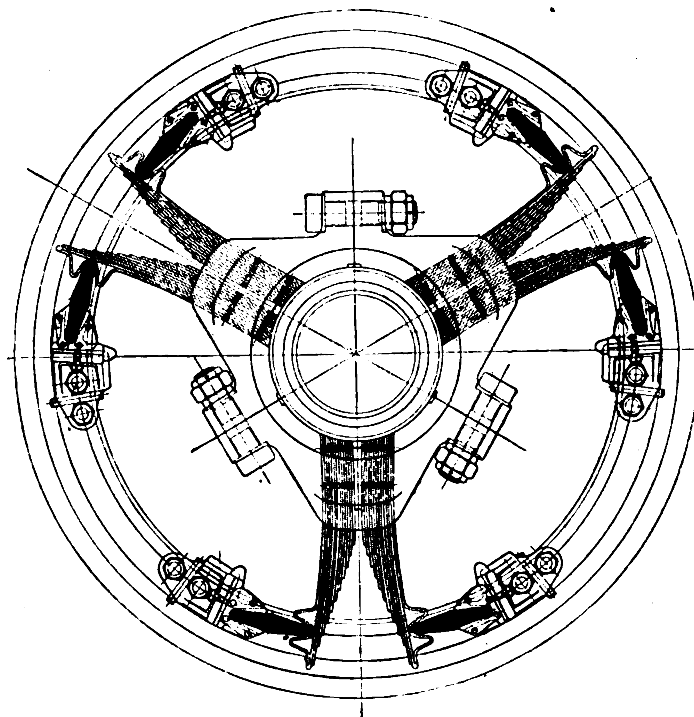


Fig. 11. — Accouplement à ressorts avec appuis oscillants.

vers le haut, les électrodes sont très rapprochées et on a de plus interposé d'autres tôles pour augmenter la surface de contact et diminuer le chemin que doit parcourir le courant dans le liquide.

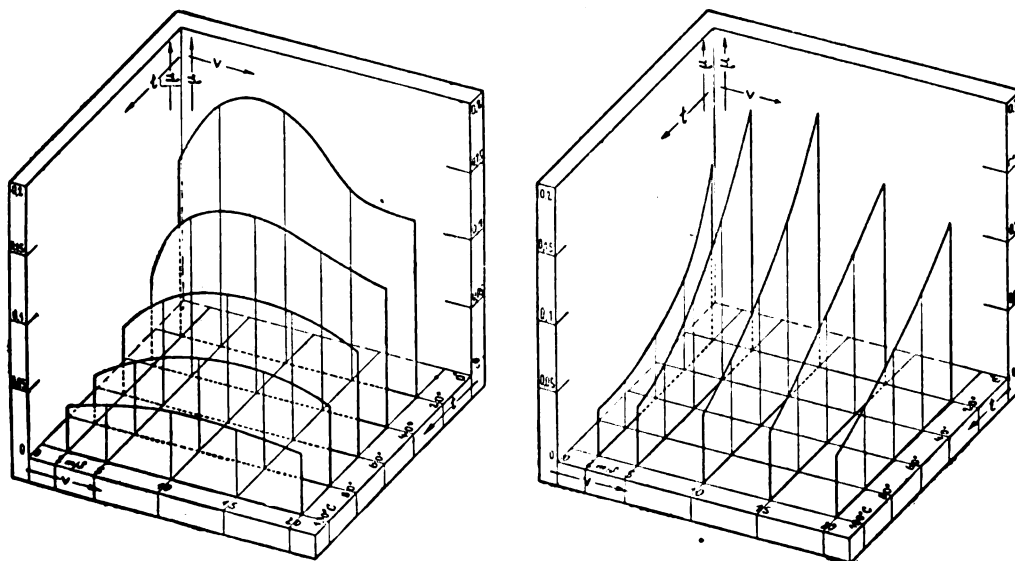


Fig. 12 et 13. — Résultats d'essais sur les paliers.

Le liquide ayant passé dans la résistance, traverse un réfrigérant constitué de tubes de cuivre de faible diamètre, que l'on aperçoit dans la figure 2.

On conçoit qu'avec cet appareil, la mise en marche peut être réglée d'avance et être complètement soustraite à la volonté du conducteur. La vitesse, d'autre part, peut être modifiée comme

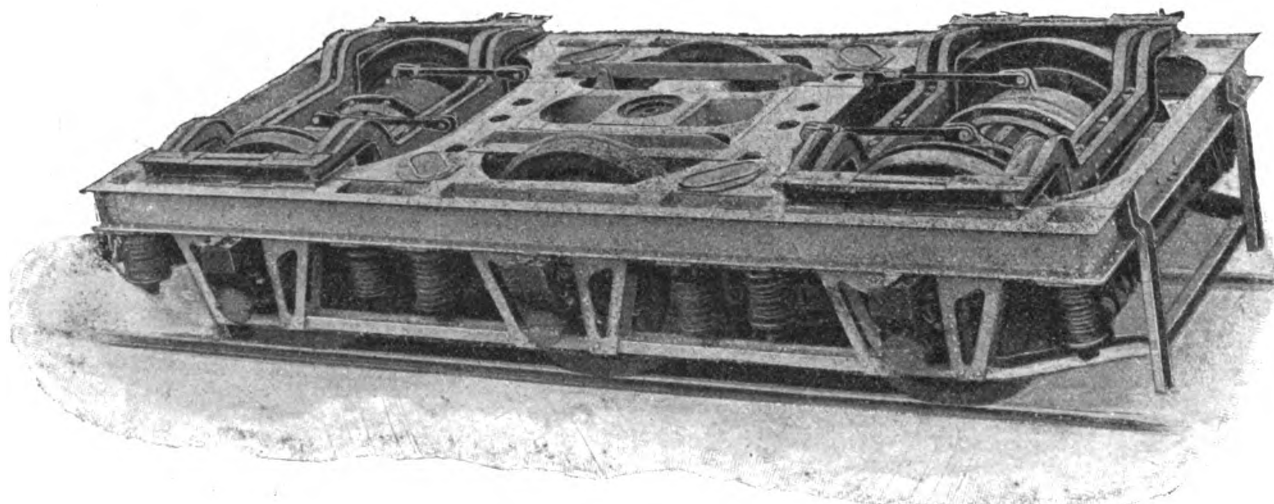


Fig. 14. — Truck équipé.

on le désire, mais la position du trop-plein limitera toujours la vitesse maxima admissible à une valeur fixée d'avance. La seule manœuvre à faire est celle de la soupape ; à l'aide d'un appareil

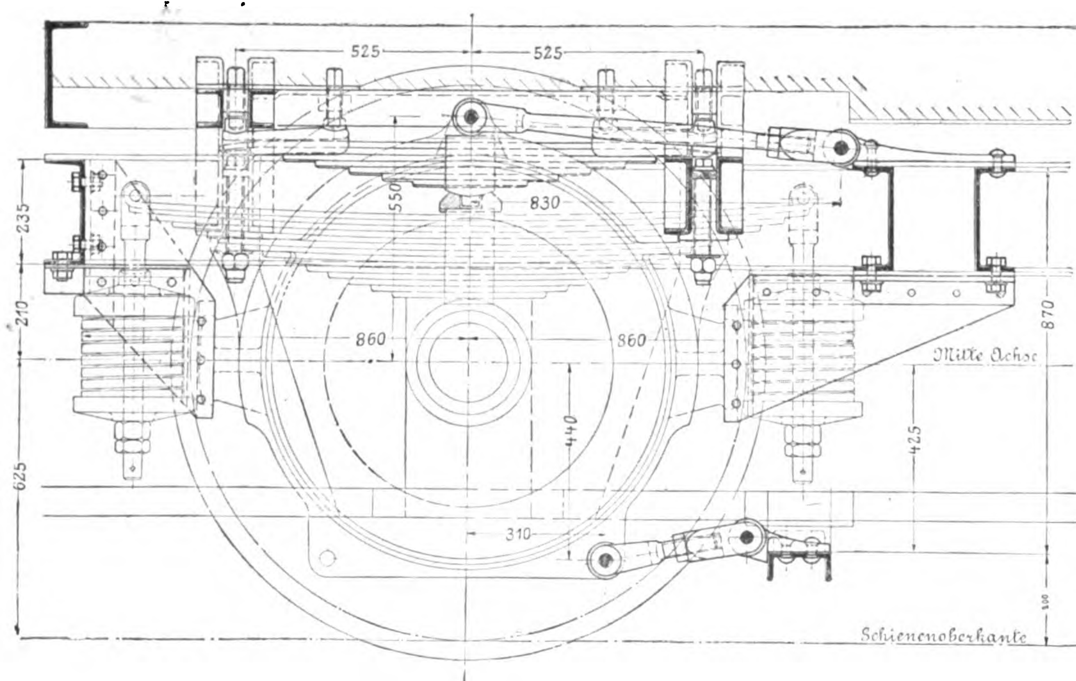


Fig. 15. — Suspension du moteur.
Mitte Achse : axe des essieux ; *Schienenoberkante*, surface de roulement du rail.

électrique ou à air comprimé, ou encore d'un système de tiges et de leviers, cette manœuvre peut être commandée de n'importe quel point de la voiture.

4. *Dispositifs de freinage.* — La voiture est munie de deux freins Westinghouse à air, un pour

chaque truck, pouvant être commandés en même temps de la cabine du mécanicien. La pression de freinage est très grande, car le coefficient de frottement entre le sabot de frein et la roue est tout autre pour des vitesses qui dépassent 50 m par seconde que pour les vitesses ordinairement usitées. On doit diminuer la pression en même temps que l'élan du train s'amortit.

En second lieu, on peut freiner en se servant des électromoteurs, et on a la double possibilité de les faire débiter comme génératrices sur des résistances après avoir excité le stator avec du courant continu, ou encore de renverser le sens de marche de ces moteurs. Ces deux procédés sont employés. Quand le circuit mobile est ouvert, on coupe le courant primaire et on connecte le circuit du stator avec une batterie d'accumulateurs portée sur la voiture ou, si on le préfère, on intervertit les phases 2 et 3, puis on agit sur la soupape de la résistance liquide comme pour remettre en marche.

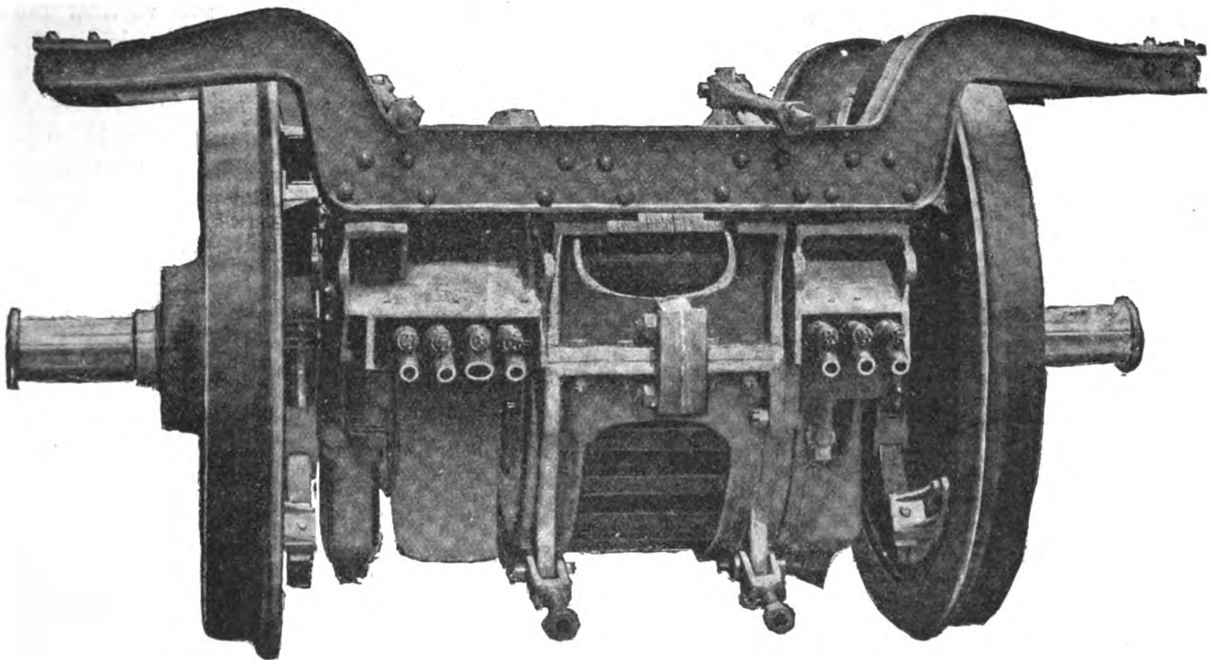


Fig. 16. — Moteur avec son cadre.

Dans l'un et l'autre cas, la rapidité avec laquelle le véhicule s'amortit dépend de la vitesse de remplissage de la résistance.

Le freinage par marche arrière ne peut pas être considéré comme suffisant, car il pourrait arriver que le circuit primaire soit coupé quelque part; on doit le considérer plutôt comme un moyen de secours. A la tension d'alimentation de 435 volts, la tension aux bornes du rotor est de 325 volts. Lorsqu'on change le champ pour le freinage, cette tension secondaire à pleine vitesse monte à environ 650 volts. Quoique les appareils soient essayés à 4,000 volts, il serait dangereux de laisser la sécurité des voyageurs dépendre de l'emploi d'une aussi haute tension. C'est là la raison pour laquelle on a mis des freins Westinghouse.

Pour augmenter la sécurité, il y a deux batteries d'accumulateurs, une pour chaque truck.

Dans le service normal, on se sert du frein Westinghouse à la fin de l'arrêt, quand le frein électrique a peu d'effet.

En outre, pour le service en gare, le véhicule est pourvu d'un frein à main, par cabine, agissant sur le truck le plus voisin.

5. *Prises de courant.* — Le courant est amené à la voiture par une ligne aérienne constituée par

3 conducteurs situés dans un plan vertical et sur lesquels glissent des archets. La grande difficulté provenait encore ici de la vitesse et on dut essayer un certain nombre de dispositifs.

A chaque extrémité de la voiture on a disposé un triple archet. L'écartement minimum entre deux archets est réglé par la nécessité de pouvoir faire tourner chacun d'eux autour de son axe vertical. Ces prises de courant sont d'ailleurs dans le voisinage du pivot des trucks, de manière que leur distance aux fils de travail se modifie peu, en alignement droit ou en courbe.

On a cherché à diminuer autant que possible la masse des frotteurs et on les constitue d'un certain nombre de barrettes de métal léger réunies à leur support par des ressorts à lames de différentes longueurs.

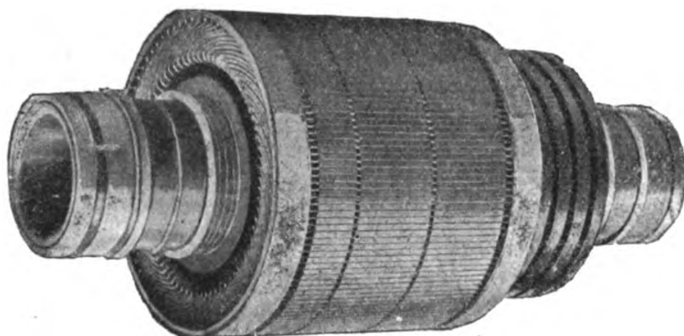


Fig. 17. — Rotor avec ses bagues monté sur un arbre creux.

En outre, l'archet tout entier est mobile autour d'un axe vertical dans un pivot à billes, et possède un fort ressort de rappel.

II. Description de la voiture. — 1. *Caisse*. — La longueur de la caisse est de 21 m. La distance entre tampons est de 22,10 m. La largeur est de 2,80 m. La voiture s'inscrit juste dans le gabarit normal : elle contient 50 voyageurs.

La voiture est séparée en deux par la chambre des appareils, mais on peut se rendre de l'un à l'autre compartiment par un passage.

Les compartiments de voyageurs et les cabines de mécanicien ne sont traversées par aucun conducteur de courant à haute tension. Les archets sont connectés deux à deux et essayés à 20 000 volts. Entre la chambre des appareils et les compartiments du public, de même qu'entre ces derniers et la chambre des transformateurs, il y a une double paroi et un matelas d'air. Les batteries d'accumulateurs sont à côté des transformateurs et séparés par une double cloison de tôle.

Les voitures seront profilées en avant en forme de coupe-vent.

2. *Trucks et suspension des moteurs*. — Les deux trucks sont écartés de 13,30 m d'axe en axe : le diamètre des roues est de 1,25 m.

Chaque truck est à trois essieux, les deux essieux extérieurs portent chacun un moteur; celui du milieu est laissé libre pour le logement du pivot et des cylindres du frein à air. L'empattement des roues est de 2 × 1,90 m. La figure 14 représente un truck équipé.

La charge par essieu atteint 15 tonnes.

Il n'y a pas de liaison élastique entre la caisse et les trucks. Ce sont les trucks qui sont suspendus élastiquement sur les essieux, au moyen d'un ressort à lames et de deux ressorts spiraux par essieu (fig. 15).

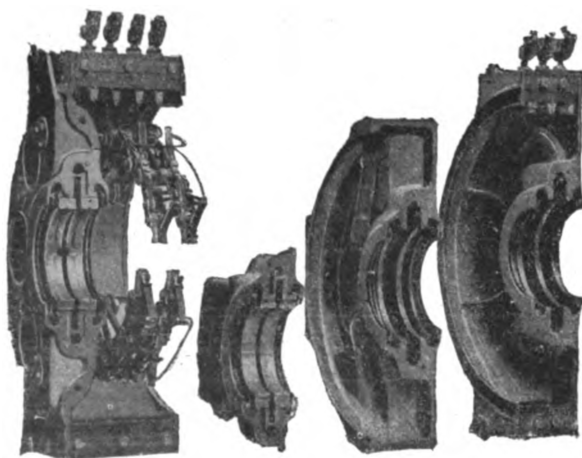


Fig. 18. — Paliers du moteur.

Sur les fusées d'essieu prennent appui les ressorts à lames qui supportent la carcasse du moteur. La liaison entre ces ressorts et la carcasse se fait par une butée courbe, de manière à ce que la raideur de la suspension se modifie suivant la flexion : le ressort fléchissant facilement pendant les premiers millimètres, et étant très dur pour les 8 à 10 millimètres suivants. Pour le cas où la suspension se romprait, la carcasse du moteur porterait sur l'essieu par les coussinets que l'on aperçoit sur la figure 16.

Les deux figures 16 et 19 permettent de se rendre compte des dispositifs employés pour

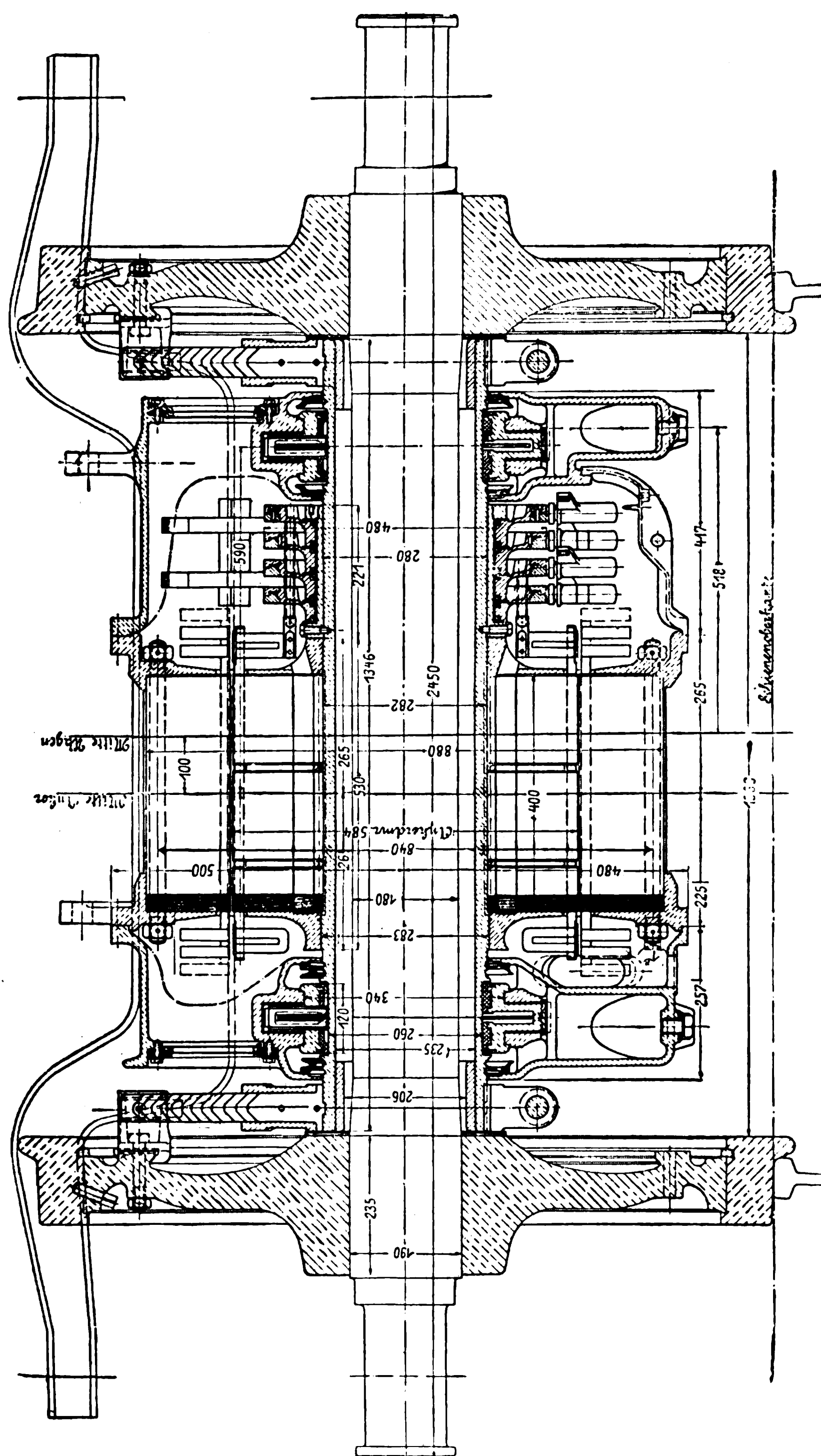


Fig. 19. — Moteur de traction à courants triphasés.
Puissance normale 250 chevaux; Puissance maxima 750 chevaux.

maintenir la carcasse, et s'opposer à ce qu'elle tourne par réaction du champ sur la partie mobile.

8. *Moteurs*. — Chaque moteur doit fournir normalement de 250 à 750 chevaux. Le nombre

de 960 tours par minute correspond à une vitesse de 225 km à l'heure. La tension aux fils travail est de 12 000 volts : elle est réduite à 435 volts dans la voiture même. Pour des raisons de solidité, on a cru préférable de ne mettre aux moteurs qu'une spire par encoche, isolée par un tube de micanite. Le rotor est représenté sur la figure 17.

La carcasse est reliée à l'essieu creux par des paliers en deux pièces (fig. 18). L'un supporte les frotteurs des bagues du rotor et les câbles de connexion à l'appareil de démarrage ; l'autre, les câbles du circuit principal.

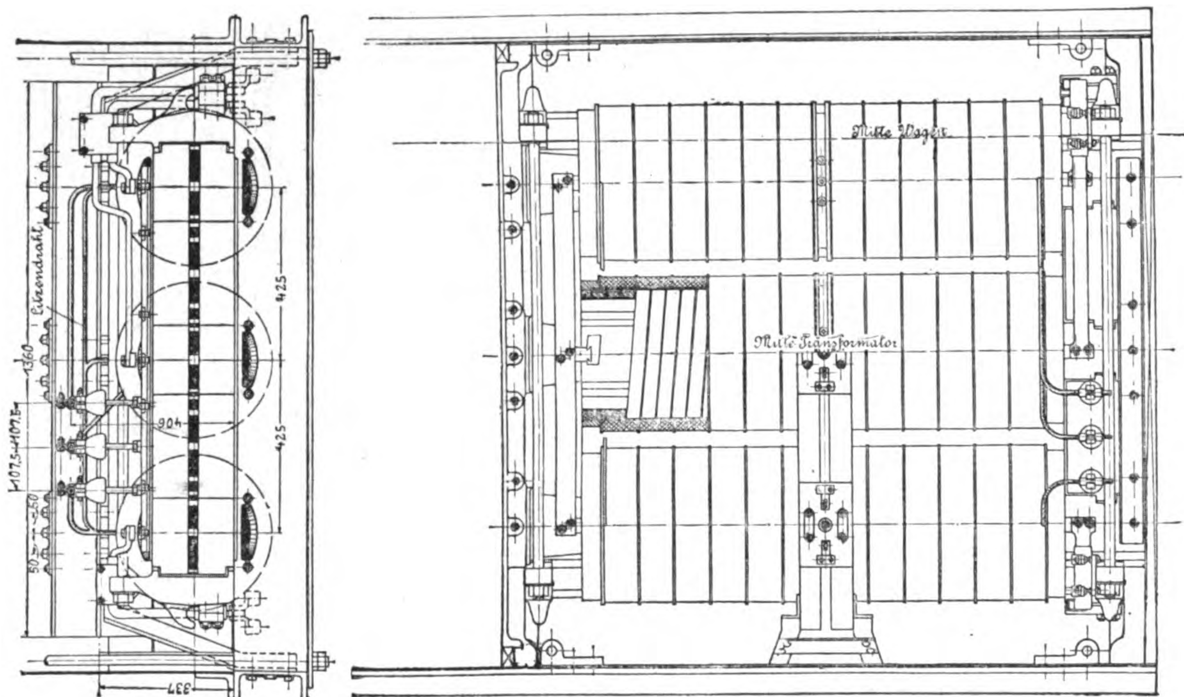


Fig. 20. — Transformateur de 1 200 kilowatts.

Mitte Wagen : axe de la voiture ; *Mitte Transformateur*, axe moyen du transformateur.

Le graissage des paliers se fait sous une pression de 30 à 40 mm d'huile. L'arbre creux est en acier au nickel : il est à une distance de 30 mm de l'essieu.

4. *Transformateurs.* — La figure 20 indique comment sont construits les transformateurs.

Les deux enroulements sont séparés par un cylindre de micanite.

L'air peut circuler dans des canaux ménagés dans le fer et entre le fer et les bobines : cet air arrive comme il est indiqué sur la figure 2. Les transformateurs sont suspendus à la caisse du véhicule.

5. *Câblage.* — La prise de courant a été décrite plus haut, : sa tête est en tôle d'aluminium : elle est reliée au pied par des bras. Le courant est amené par des fils isolés jusqu'au pied de la prise de courant, puis à l'aide d'un contact large et à l'air libre, il passe au circuit de la voiture.

La figure 21 montre la canalisation de la voiture. Pour la haute tension : les câbles sont essayés à 20 000 volts et malgré cela montés comme des conducteurs nus : la canalisation à haute tension est protégée par des fusibles et un interrupteur qui ne sert d'ailleurs que lorsque le parcours est terminé.

6. *Conduite de la voiture.* — Le mécanicien n'a à manœuvrer qu'un volant (fig. 22 et 23) : en

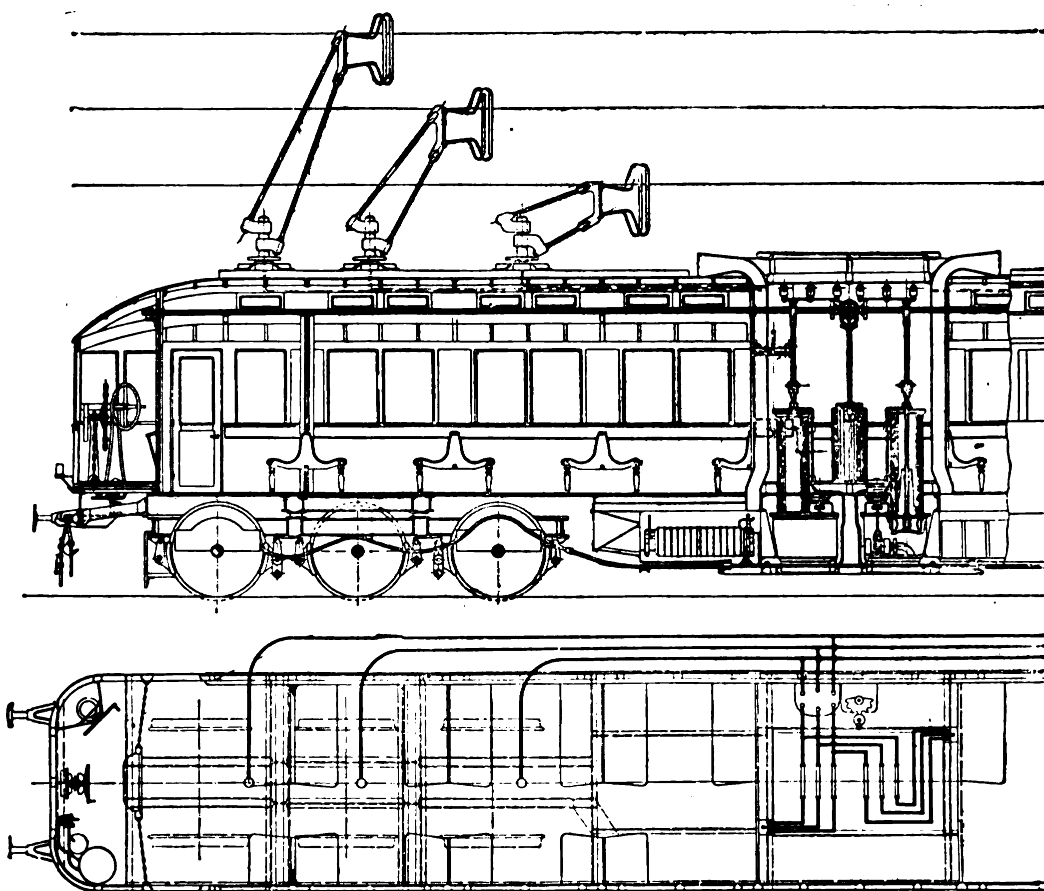


Fig. 21. — Câblage.

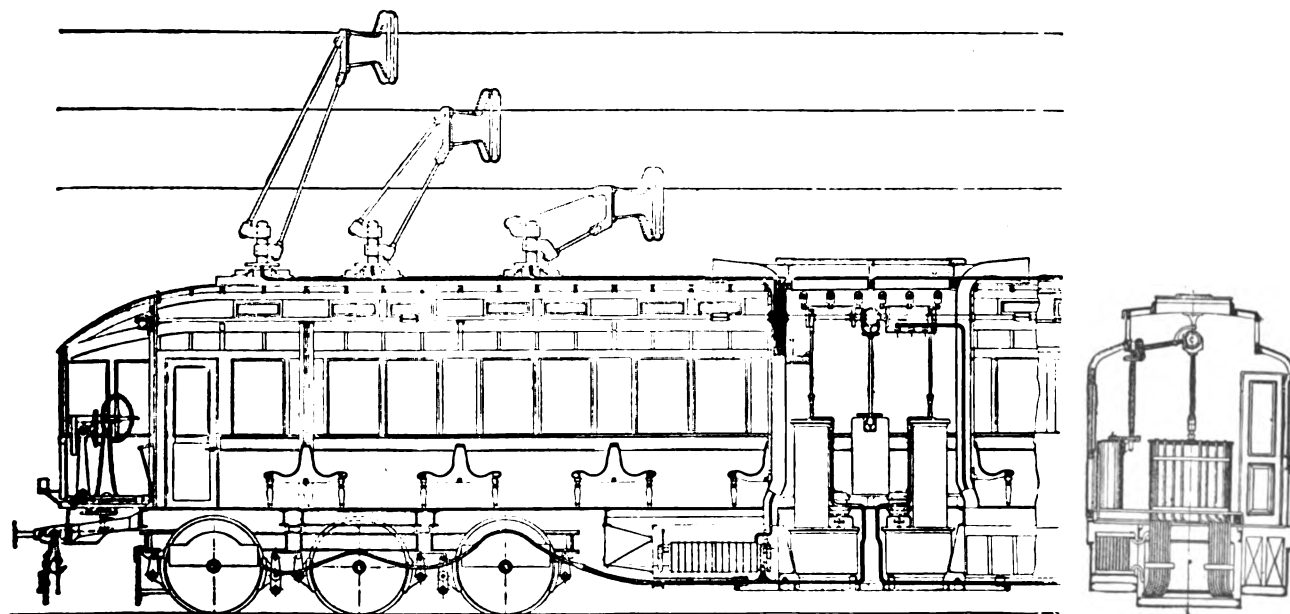


Fig. 22. — Commande des appareils.

le tournant vers la droite, il obtient le démarrage et une augmentation de vitesse ; en tournant à

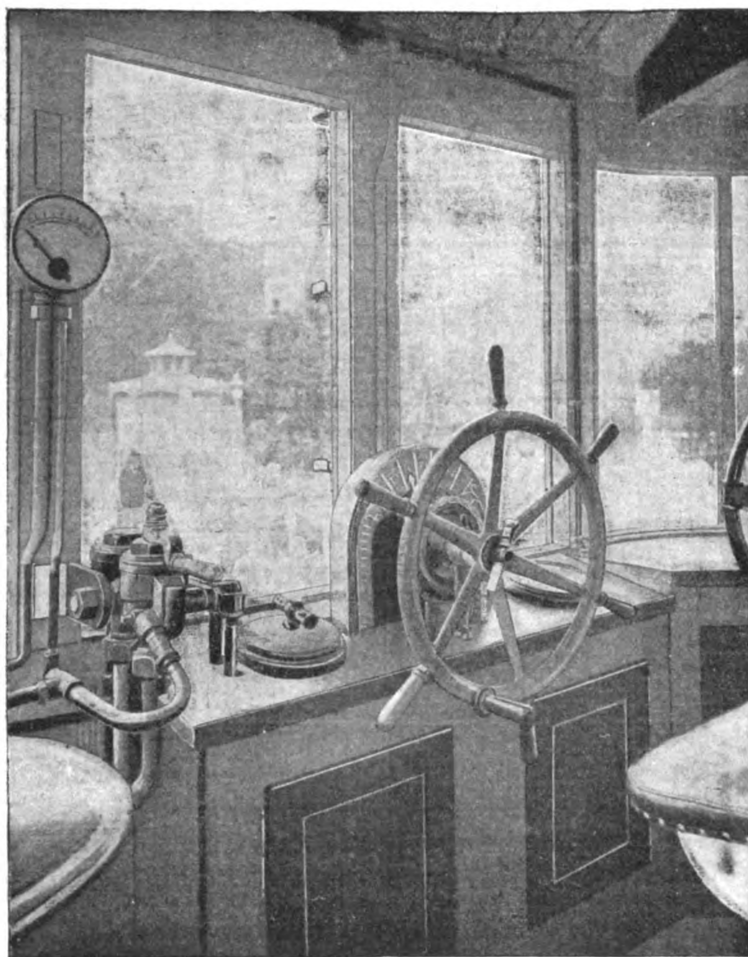


Fig. 23. — Cabine de mécanicien.

gauche, il obtient la diminution de vitesse, l'arrêt et le freinage. A la portée de sa main gauche, le mécanicien trouve la manette du frein à air.

J. Reyval.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 8 janvier 1902.

L'ordre du jour n'annonçait pas moins de quatre communications, une allocution et un vote.

L'allocution, faite par M. Mascart, avait pour but de faire connaître aux membres de la Société, convoqués en Assemblée générale extraordinaire, les résultats des pourparlers engagés entre la ville de Paris et le bureau de la Société pour l'agrandissement des locaux du Laboratoire central et de l'Ecole supérieure d'électricité.

Cet agrandissement exigeant le déplacement du poste des ambulances urbaines, la ville demande à la société une somme de 50 000 fr; sur cette somme, 20 000 fr peuvent être pris sur les ressources ordinaires de 1902; pour le complément, un emprunt de 30 000 fr est nécessaire. M. Mascart demande à l'assemblée d'autoriser son bureau à accepter les propositions de la Ville de Paris et à émettre un emprunt de 30 000 fr. Cette autorisation est accordée par un vote à mains levées.

L'une des communications est un rapport du président de la 4e section, M. E. Sartiaux, sur les résultats d'une étude de cette section portant sur « les conditions de réception et de fabrication des câbles industriels ». Ce rapport devant être discuté à la prochaine séance, nous le publierons *in extenso* dès qu'il sera imprimé.

Deux des autres communications se rapportent à la question de l'irrégularité des machines motrices. Dans l'une, M. Cornu montre, en projetant les clichés obtenus dans ses essais sur un moteur à gaz Otto, combien la méthode stroboscopique est précieuse pour résoudre complètement et exactement le problème de la détermination de la loi des vitesses d'une machine. Dans l'autre, M. Blondin décrit un procédé stroboscopique que M. Sartori, de Trieste, a eu l'idée d'employer à la suite de la communication de M. Cornu, de novembre dernier, et indique les résultats qu'a fournis à M. Sartori l'application de ce procédé à deux alternateurs Ganz de 250 kilowatts, de la station de Trieste, accouplés en parallèle. Nous reviendrons sur ces deux communications dans le prochain numéro de cette revue, où seront analysés aussi divers travaux américains concernant la même question.

Nous ne retiendrons aujourd'hui que la communication ***Sur la télégraphie sans fil***, par le capitaine **Ferrié**.

Après avoir rappelé la communication sur le même sujet faite, trois ans auparavant, par M. Voisenat, devant la Société [1] et mentionné le mémoire présenté par M. Blondel et lui au Congrès d'Electricité de 1900 [2], M. Ferrié divise comme suit les étapes principales du développement de la télégraphie sans fil : En 1895, premiers essais de Marconi; de 1895 à 1899, création de types d'appareils augmentant la sûreté des communications et la distance à laquelle elles peuvent être échangées, sans toutefois donner, à ce dernier point de vue des résultats frappants ; en 1899, utilisation par Marconi du « jigger » qui lui permet d'atteindre et de dépasser 100 km; en 1900, Marconi d'une part, Slaby, d'autre part, résolvent en partie le problème de la syntonisation des postes transmetteur et récepteur et parviennent à augmenter encore la sûreté des communications et la distance franchie qui, dans certaines expériences de Marconi, a dépassé 300 km [1].

M. Ferrié expose ensuite les idées de M. Blondel, M. Righi et M. Slaby, sur la manière dont les ondes sont transmises du poste d'émission au poste de réception.

Suivant M. Blondel, les lignes de force magnétiques, circulaires et concentriques à l'antenne, qui prennent naissance quand cette antenne est reliée à l'oscillateur, se transmettent de proche en proche à travers l'espace en se déplaçant parallèlement à la surface du sol, les lignes de force inférieures glissant en quelque sorte le long du sol.

M. Righi admet qu'il y a réflexion sur le sol des ondes émises par l'antenne et que celle-ci agit, en raison de cette réflexion, comme si il lui était adjoint une antenne symétrique d'elle-même par rapport au sol ; ainsi une antenne verticale de 30 m de hauteur agirait comme si le lieu d'émission des ondes était une droite de 60 m de longueur. M. Ferrié fait remarquer qu'il est bien difficile d'adopter cette manière de voir dans le cas des transmissions à longue distance en mer, la droite joignant les postes d'émission et de réception passant alors, par suite de la sphéricité de la terre, à plus de 400 m au-dessous de la surface de la mer.

(1) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, t. XV, p. 7, séance du 12 janvier 1898 ; *L'Écl. Élect.*, t. XIV, p. 166 et 313, 22 janvier et 12 février 1898.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 471 et 491, 22 et 29 septembre 1900.

(1) A ce propos, M. Ferrié signale les essais récents de Marconi entre le cap Lizard et Terre-Neuve; mais il estime qu'il serait imprudent de se prononcer actuellement sur la valeur de ces essais, les signaux correspondant à la lettre S (trois points) et, sans aucun doute, dus à l'électricité atmosphérique, se manifestant fort souvent et fort importunément dans les expériences de télégraphie sans fil. (Voy. *L'Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 20, 11 janvier 1902.

M. Slaby [1] admet qu'il y a simplement induction électromagnétique entre les antennes d'émission et de transmission, et partant de cette idée, il arrive par le calcul à la formule $d = \frac{l^2 J}{a T}$ pour la distance à laquelle il est possible de transmettre avec des antennes verticales de longueur l, et un courant d'intensité J et de période T (a étant une constante de proportionnalité). D'après cette formule il semblerait qu'à égalité des hauteurs d'antennes et à égalité d'intensité de courant, la distance de transmission devrait augmenter quand la période T des oscillations diminue, ce que montrent en effet les expériences ; mais, comme d'après M. Slaby la longueur d'antenne l est le quart de la longueur d'onde $\lambda = v T$ des oscillations, la formule conduit au contraire à admettre que la distance franchie est proportionnelle à la durée de l'oscillation, conclusion inacceptable [2].

Après cet examen des idées générales sur la manière dont s'effectue la transmission d'une antenne à l'autre, M. Ferrié s'occupe des phénomènes dont les antennes sont le siège.

Il semble aujourd'hui établi qu'une antenne dont l'extrémité inférieure est en communication avec l'une des boules d'un oscillateur et isolée du sol présente à cette extrémité un *nœud de force électromotrice*, l'extrémité supérieure étant un *ventre de force électromotrice* ; si l'on considère l'intensité des courants qui circulent dans l'antenne, l'extrémité supérieure est au contraire un *nœud d'intensité* et l'extrémité inférieure un *ventre d'intensité*. Cette conception de l'état électrique de l'antenne se trouve démontrée par diverses expériences de Slaby et de Lindemann. Ces expériences ont montré en outre qu'il n'y a pas de nœud ou ventre entre les extrémités et que dès lors, la longueur de l'onde doit être égale à quatre fois la longueur de l'antenne. Les expériences du lieutenant Tissot, sur la mesure de la période des oscillations de l'étincelle au moyen du miroir tournant [1], ayant montré que cette période n'est pas constante indiquent par suite que cette relation entre la longueur d'antenne et la longueur d'onde ne saurait être rigoureusement exacte.

Quant à l'antenne de réception, elle entrera en vibration sous l'influence des oscillations qu'elle reçoit et, comme celles-ci sont très fortement amorties, elle vibrera avec sa période propre. Si elle est isolée, et on peut la considérer comme telle lorsqu'elle est réunie au sol par l'intermédiaire d'un cohéreur, elle présentera un ventre de force électromotrice à sa partie inférieure, ce qui est une condition favorable pour le fonctionnement du cohéreur placé précisément dans le voisinage immédiat de ce ventre. Si au contraire l'antenne est reliée directement au sol, c'est un ventre d'intensité qui se produit à l'extrémité inférieure; comme le cohéreur est alors placé dans le circuit d'un transformateur dont le primaire est constitué par quelques tours de la partie inférieure de l'antenne, ce cohéreur se trouve encore dans d'excellentes conditions de fonctionnement puisque le transformateur qui l'actionne est précisément disposé à l'endroit où les variations d'intensité du courant sont maximum. On voit donc que cette conception de l'état électrique de l'antenne de réception est parfaitement d'accord avec les résultats de l'expérience.

Passant à l'étude de l'influence des dimensions, nature, orientation, etc., des antennes sur la distance de transmission, M. Ferrié rappelle d'abord que c'est la hauteur qui a une influence prépondérante. Quelle en est la raison ?

Tous les expérimentateurs ont constaté que la longueur de l'étincelle à l'oscillateur diminue très rapidement quand la hauteur d'antenne augmente. Cette diminution ne peut être due à l'augmentation de la capacité du système, car cette augmentation est insignifiante ; elle ne peut s'expliquer que par une augmentation de la quantité d'énergie rayonnée par l'antenne. Une grande antenne rayonnerait donc beaucoup plus qu'une courte et dès lors l'augmentation de la distance de transmission s'expliquerait. Cette explication se trouve d'ailleurs confirmée par ce fait que, toutes autres choses égales, la distance franchie est plus grande quand l'antenne est reliée au pôle négatif de la bobine que lors-

(1) Dans un article « La télégraphie sans fil en Allemagne », dû à notre collaborateur J. Reyval, et qui paraîtra dans un prochain numéro de cette revue, nos lecteurs trouveront un exposé très complet des idées théoriques et des résultats des essais de M. Slaby.

(2) On verra, dans l'article que nous annonçons ci-dessus, que M. Braun préconise cependant l'emploi d'oscillations de grande longueur d'onde, et, par suite, de longue période.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 38, 6 avril 1901.

qu'elle communique au pôle positif, car on sait que le rayonnement des corps électrisés négativement est plus grand que celui des corps positifs.

Quant à la loi qui relie la hauteur d'antenne H à la distance franchie d, elle est, d'après les nombreux essais de Marconi, exprimée par l'égalité $H = \alpha\sqrt{d}$; cette formule a été vérifiée par M. Blondel et M. Marconi.

Le diamètre d'une antenne n'a guère d'influence sur la distance de transmission, du moins tant que cette antenne est filiforme. Si au fil on substitue un tuyau, c'est-à-dire si l'on augmente considérablement la surface d'émission la distance croît : ainsi en prenant un tuyau de 1,5 m de diamètre et de 9 m seulement de hauteur, Marconi est parvenu à transmettre en mer à 40 km de distance, alors qu'une antenne filiforme de 30 à 40 m de hauteur eût été nécessaire pour atteindre cette même distance. A ce propos, M. Ferrié fait observer que la substitution à une antenne filiforme d'un tuyau donnant la même distance de transmission, ne modifie guère la longueur de l'étincelle de l'oscillateur bien que cette substitution ait considérablement augmenté la capacité du système ; c'est une confirmation indirecte de l'hypothèse indiquée plus haut que la distance explosive dépend surtout de la puissance de rayonnement.

L'inclinaison des antennes a peu d'influence si la longueur de la projection verticale reste la même. Il en est de même de l'orientation relative de l'antenne de réception et de celle de transmission : avec deux antennes inclinées à 45° sur l'horizon en sens inverses et qui, par suite, ont des directions perpendiculaires, la transmission est presque aussi bonne qu'avec deux antennes verticales de longueurs égales aux projections verticales des précédentes [1].

L'isolement des antennes a une influence beaucoup plus considérable. Dans les premiers dispositifs de Marconi l'antenne de transmission était isolée, celle de réception reliée au sol par l'intermédiaire du cohéreur, et par conséquent presque isolée à cause de la grande résistance du cohéreur ; dans les récents dispositifs de Marconi et dans ceux de Slaby, les deux antennes sont en relation directe avec le sol ; or ces derniers dispositifs ont permis d'augmenter considérablement la distance franchie.

Toutefois, comme pouvait le faire prévoir le bon fonctionnement des premiers dispositifs de Marconi, la mise à la terre, quoique fort utile, n'est pas indispensable : on peut communiquer avec deux antennes parfaitement isolées du sol ; il faut seulement augmenter la longueur des antennes à égalité de distance franchie.

Ce résultat indique que la transmission des ondes s'effectue, au moins partiellement, par l'air. M. Ferrié a cherché expérimentalement quelle est la distribution du champ hertzien dans l'atmosphère. Il prenait comme antenne transmettrice un conducteur A de 50 à 100 m, soutenu par un petit ballon et comme antenne réceptrice, un conducteur B de 50 à 200 m suspendu à la nacelle d'un ballon captif dont on pouvait faire varier l'altitude au-dessus du sol jusqu'à 800 m ; l'appareil de réception était dans la nacelle. Lorsque A avait 100 m et B 200 m et que la distance qui les séparait était de 20 km, la réception était aussi bonne à toute altitude ; en réduisant à 100 m la longueur de l'antenne réceptrice B, les signaux cessaient d'être perçus quand la nacelle dépassait l'altitude de 400 m. En donnant à A une longueur de 50 m et à B une longueur de 100 m, la réception, à plus faible distance que précédemment, se faisait également bien à toute altitude comprise entre 0 et 800 ; en réduisant à 50 m la longueur de l'antenne réceptrice, la réception ne se faisait plus qu'à faible altitude. D'autres expériences montrèrent qu'à des altitudes comprises entre 800 et 1 000 m au-dessus du sol, la réception n'était plus possible. L'ensemble des expériences montre donc que, d'une part il y a une relation entre les longueurs des antennes réceptrice et transmettrice qui assure la meilleure transmission, et d'autre part, que le champ hertzien se trouve concentré dans le voisinage immédiat du sol. La terre joue donc un rôle dans la transmission en empêchant le champ de se disperser dans tout l'espace.

Ce rôle n'est d'ailleurs pas le seul que la terre remplisse ; il en est d'autres, les uns utiles, les autres perturbateurs ; M. Ferrié les examine successivement.

En premier lieu la terre influe sur la capacité

[1] Ce fait donne une nouvelle raison de douter de l'exactitude de la formule de Slaby, puisque pour deux antennes perpendiculaires l'induction électromagnétique serait nulle.

de l'antenne d'émission et, par conséquent, sur la longueur d'onde des ondes émises. D'autre part, elle maintient à un potentiel constant l'un des pôles de l'oscillateur, ainsi que l'un des pôles du cohéreur ou l'extrémité inférieure de l'antenne réceptrice, suivant le dispositif adopté. En troisième lieu elle joue un rôle néfaste sur la portée des transmissions lorsque des obstacles (collines, montagnes) existent entre les deux postes (1).

La terre peut encore être utilisée pour remplacer la pile du circuit du cohéreur : il suffit d'attacher les extrémités de ce circuit à deux plaques de terre, l'une en cuivre, l'autre en zinc, enfouies à quelque distance.

Une autre influence découle des phénomènes électriques atmosphériques et terrestres et des variations de la température. Les orages même très lointains (M. Ferrié a eu l'occasion de constater à Paris l'effet d'un orage situé dans la région d'Angers), produisent des signaux parasites. Les variations du potentiel terrestre paraissent agir également, car au moment du coucher du soleil et aux passages de nuages au-dessus des appareils, on observe de nombreuses perturbations dans la réception des signaux. La température a également une influence perturbatrice car, pendant l'été, aux heures chaudes de la journée, la réception devient parfois impossible ; ainsi dans les essais faits entre Biot et Calvi on ne pouvait plus avoir de bonnes communications après 10 à 11 heures du matin.

M. Ferrié décrit ensuite les dispositifs employés par Slaby et par Marconi pour obtenir la syntonisation des deux postes. Ceux de Marconi ont été décrits récemment, à propos des essais entre Biot et Calvi (2), et ceux de Slaby, déjà signalés, seront décrits en détail dans un prochain numéro ; nous n'insisterons donc pas sur cette partie de la communication de M. Ferrié.

Le conférencier passe à l'indication des divers types de cohéreurs et anti-cohéreurs susceptibles d'être employés ; il expose ensuite un essai de théorie de leur fonctionnement. Bien que cette question ait été traitée récemment dans ce journal par M. Turpain (1) nous nous y arrêterons un moment, M. Ferrié ayant tenté d'étendre aux anti-cohéreurs la théorie des cohéreurs qu'il exposait en 1900 dans une communication au Congrès international d'Electricité (2).

Rappelons d'abord que les détecteurs d'ondes fonctionnant par variation de résistance peuvent être divisés en quatre groupes : 1° ceux où la conductibilité augmente instantanément sous l'influence des ondes hertziennes et conserve la valeur acquise (cohéreurs ordinaires) ; 2° ceux où l'augmentation de conductibilité acquise ne se maintient pas (cohéreurs décohérents) ; 3° ceux où l'action des ondes se manifeste par une augmentation permanente de la résistance (anti-cohéreurs) ; 4° enfin ceux où cette augmentation de la résistance cesse après le passage des ondes (anti-cohéreurs décohérents).

Pour expliquer le fonctionnement des détecteurs des deux premiers groupes, M. Ferrié admet que lorsqu'une différence de potentiel, même très faible, est appliquée aux bornes d'un de ces appareils, il se produit entre les particules conductrices des effluves analogues à ceux que nous observons entre les corps conducteurs présentant une différence de potentiel élevée (3) ; il admet qu'il existe entre la matière conductrice et le milieu isolant qui l'entoure une adhérence analogue à l'adhérence d'un liquide et d'un solide causée par les forces capillaires.

Quand le cohéreur est soumis à l'influence des ondes hertziennes, la différence de potentiel entre les particules augmente considérablement et un flux plus grand d'électricité tend à passer d'une particule conductrice à une autre. Pour que ce flux puisse s'écouler il faut ou bien que

(1) A ce propos, M. Ferrié cite les résultats d'essais qu'il a faits et qui montrent que si la transmission est affaiblie par des obstacles, l'affaiblissement est moindre qu'on pourrait le croire. Ainsi il a pu communiquer à 45 km de distance avec deux antennes de 100 mètres de longueur, bien qu'un massif montagneux d'assez grande hauteur se trouvât interposé entre les deux postes.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 93, 20 juillet 1901.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 56, 13 avril 1901.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 499, 29 septembre 1900.

(3) M. Ferrié fait observer que cette hypothèse n'est pas aussi hardie qu'elle peut paraître de prime abord. Si, en effet, les effluves ordinaires exigent une différence de potentiel très élevée pour se produire, les corps entre lesquels ils se produisent sont toujours très éloignés et la variation de la différence de potentiel par unité de longueur est en réalité toujours assez faible. Dès lors il n'est nullement impossible que de semblables effluves se produisent entre deux conducteurs ne présentant qu'une très faible différence de potentiel quand ces conducteurs sont aussi rapprochés que le sont les grains de limaille d'un cohéreur.

la section de l'effluve augmente ou bien que la densité du courant auquel l'effluve donne naissance s'accroisse. Or, si l'adhérence entre le diélectrique et la matière conductrice est très grande, la section de l'effluve ne pourra guère augmenter et dès lors ce sera la densité du courant qui croîtra jusqu'à devenir telle que l'effluve se transformera en une étincelle ; cette étincelle en transportant des parcelles de matière conductrice d'une particule à l'autre, établira un pont conducteur entre ces particules et l'on aura une diminution permanente de la résistance du cohéreur ; c'est le phénomène présenté par les cohéreurs ordinaires. Si au contraire l'adhérence est très faible, l'effluve pourra facilement augmenter de section ; il en résultera une diminution de la résistance, mais cette diminution ne sera que passagère car dès que les ondes auront cessé d'établir entre les particules une grande différence de potentiel, l'effluve diminuera de section et le diélectrique se trouvera, par rapport à la matière conductrice, dans les mêmes conditions qu'avant le passage des ondes ; nous aurons donc bien le phénomène des cohéreurs décohérents.

Les phénomènes des anti-cohérents pourraient s'expliquer de la même manière si la matière séparant les particules conductrices était elle-même conductrice au lieu d'être isolante comme il est supposé dans l'explication précédente. L'augmentation de la section des effluves aurait en effet pour conséquence de diminuer la section du milieu conducteur séparant deux particules et par suite d'augmenter la résistance de l'ensemble ; cette augmentation de résistance ne serait d'ailleurs que temporaire si, l'adhérence étant faible, par suite d'une sorte de fluidité du milieu interposé, la section de l'effluve pouvait reprendre sa valeur primitive après le passage des ondes ; elle serait au contraire permanente si, par suite d'une viscosité spéciale, le milieu interposé ne pouvait, une fois déformé, revenir dans les conditions primitives ; dans le premier cas, on aurait un anti-cohéreur décohérent, dans le second un anti-cohéreur ordinaire.

Or, il se trouve que tous les anti-cohéreurs décrits jusqu'ici sont constitués par des conducteurs séparés par un milieu de nature électrolytique, par conséquent conducteur aussi. D'autre part une expérience (1) due à M. Tommasina, croyons-nous avoir entendu, indique que l'on passe d'un cohéreur à un anticohéreur précisément lorsque la nature du milieu interposé entre les conducteurs devient électrolytique de diélectrique qu'elle était. L'explication du fonctionnement des anti-cohéreurs pourrait donc fort bien être ramenée à celle du fonctionnement des cohéreurs.

Avant de quitter les cohéreurs, M. Ferrié rappelle les recherches de MM. Blondel et Dobkévitch (1) sur la tension critique de cohérence ainsi que les cohéreurs réglables de M. Blondel. Il fait observer que l'emploi des cohéreurs réglables découle précisément de la conséquence des recherches de MM. Blondel et Dobkévitch, car s'il faut ajuster la différence de potentiel entre les électrodes d'un cohéreur pour obtenir le maximum de sensibilité, il faut en même temps modifier la quantité de limaille contenue entre les électrodes. A ce propos, M. Ferrié décrit le nouveau modèle de cohéreur réglable imaginé par M. Blondel : l'une des électrodes est creusée d'une cavité où est logée la réserve de limaille et on peut faire passer tout ou portion de cette limaille entre les électrodes.

En terminant, M. Ferrié examine sommairement les avantages, les inconvénients et les applications possibles de la télégraphie sans fil. Les inconvénients sont nombreux : d'abord, elle ne présente aucune sécurité, les communications pouvant, malgré les progrès faits dans la syntonisation des postes, être interceptées ou bien rendues incompréhensibles par l'envoi de signaux perturbateurs ; en second lieu, elle est à la merci de toutes les perturbations atmosphériques ; enfin, la vitesse de la transmission est beaucoup plus faible que celle de tout autre système télégraphique. Néanmoins on ne peut nier qu'elle rend de grands services en permettant aux navires d'échanger des communications

(1) Voici en quoi consiste cette expérience. Entre deux plaques métalliques on presse un petit morceau de potassium imprégné de pétrole ; on obtient ainsi un cohéreur. Si l'on presse plus fortement on a un anti-cohéreur. Dans le premier cas, le potassium se trouve séparé des plaques métalliques par un milieu diélectrique, le pétrole ; dans le second, M. Ferrié admet que, la couche de pétrole ayant été chassée par la compression, le milieu interposé est la couche de potasse qui recouvre toujours le potassium, c'est-à-dire un milieu de nature électrolytique.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 195, 5 mai 1900 et aussi t. XXIV, p. 495, 29 septembre 1900.

entre eux et avec la côte ; pour la marine de guerre c'est là un avantage incontestable, malgré les inconvénients ci-dessus; pour la marine de commerce l'avantage est problématique, car par suite du nombre considérable des navires de commerce les communications deviendront très difficiles, sinon impossibles, le jour où la plupart de ces navires seront munis de postes de télégraphie sans fil. Dans l'armée, la télégraphie sans fil peut rendre des services, moins importants, cependant, que dans la marine. Quant à son application à la transmission des dépêches concurremment avec les procédés actuellement utilisés dans ce but, elle ne semble pas pouvoir se développer, car les compagnies concessionnaires des lignes à exploiter de cette manière ne tarderaient pas à se gêner mutuellement.

J. B.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 23 décembre 1901.

Lois de l'énergie électrique, par **E. Carvallo**, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1195.

Dans une note précédente, l'auteur a montré [1] qu'on obtient un résultat faux si l'on calcule les phénomènes électrodynamiques offerts par la roue de Barlow au moyen des équations de Lagrange, d'après les idées de Maxwell. Comme les forces électrodynamiques et les forces électromotrices d'induction, considérées comme des *forces d'inertie*, sont déduites par Maxwell des équations de Lagrange, que de plus, Maxwell n'en donne nulle part une expression suffisamment correcte et générale, M. Carvallo revient sur ce sujet. Successivement il examine les énoncés de Maxwell [2], énonce les lois de l'inertie électrique telles qu'elles découlent de l'expérience de Barlow, indique leurs vérifications expéri-

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 451, 21 décembre 1901.

[2] I. EXAMEN CRITIQUE DES ÉNONCÉS DE MAXWELL. DEUX FORCES ÉLECTROMOTRICES D'INDUCTION. — Voici les énoncés de Maxwell, modifiés dans la forme, mais respectés au fond:

» *Première loi.* — Un élément conducteur à trois dimensions, où le courant est p et l'induction magnétique a, subit une force pondéromotrice qui, rapportée à l'unité de volume, est représentée par le même vecteur $|[pa]$ (MAXWELL, *Traité d'Électricité*, n°s 490 et 501 (édition française). — Notation de Grassman. que le parallélogramme construit sur les vecteurs p et a.

« *Deuxième loi.* — La force électromotrice induite dans un circuit conducteur, filiforme et mobile, est la dérivée changée du signe du flux de l'induction magnétique a qui traverse le circuit mobile. (MAXWELL, n° 531.)

» Dans le premier énoncé, Maxwell comprend bien la roue de Barlow : la force électrodynamique est attachée au conducteur, non au courant, de façon qu'elle déplace la roue, non le courant. Quant au deuxième énoncé, il est exact pour les conducteurs filiformes, mais il confond deux parties essentiellement distinctes de la force électromotrice, de sorte qu'il devient défectueux dans le le cas de la roue de Barlow. La première partie est due au mouvement du conducteur : *c'est l'intégrale, le long du circuit, du vecteur* $[x' \alpha]$ *qui représente l'aire du parallélogramme construit sur la vitesse* x' *du conducteur et le champ magnétique* α. La deuxième partie de la force électromotrice est due aux variations magnétiques du champ : *c'est la vitesse de variation, changée de signe, du flux de l'induction magnétique* a *embrassée par le circuit considéré comme fixe*. La somme de ces deux parties représente, dans les deux cas, la force électromotrice induite dans le circuit, qu'il soit filiforme ou qu'il contienne la roue de Barlow. L'expérience de Barlow nous conduit donc aux trois énoncés suivants :

» II. LOIS DE L'INERTIE ÉLECTRIQUE. — *Première loi.* — Un élément conducteur non magnétique, où le courant est p et le champ magnétique α, subit une force électrodynamique représentée par le vecteur $|[p\,\alpha]$,

« *Deuxième loi.* — Un élément conducteur non magnétique et en mouvement, où la vitesse est x' et le champ magnétique α, est le siège d'une force électromotrice d'induction représentée par le vecteur $|[x'\,\alpha]$.

» *Troisième loi.* — La force électromotrice d'induction dans un contour fermé est la somme de deux termes, d'une part l'intégrale du vecteur $|[x'\,\alpha]$ le long du contour, d'autre part la dérivée changée de signe du flux de l'induction magnétique a qui traverse le contour supposé fixe.

» Que deviennent ces lois quand on considère des substances conductrices magnétiques, diélectriques, électrolytiques ? Maxwell a deviné que, alors, c'est le vecteur induction magnétique a qui remplace le champ magnétique α ; le courant total u, qui remplace le courant de conduction p. Tel sera le changement à apporter aux énoncés et qu'il importera de contrôler par de nouvelles expériences.

» III. VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES. — 1° Remplacer la roue ce Barlow par une roue de fer doux ; la force électrodynamique appliquée à la roue sera augmentée en raison de l'induction magnétique renforcée par le fer doux. La force électromotrice d'induction produite par la rotation de la roue sera aussi augmentée. Les deux augmentations sont corrélatives en vertu du principe de l'énergie et conformément au calcul de Helmholz.

» 2° Que la roue soit d'acier, aimantée suivant son axe, vous pourrez supprimer l'aimant inducteur, la roue tournera encore, et sa rotation provoquera encore des forces électromotrices d'induction suivant les rayons de la roue.

« 3° Que la roue soit de verre ou d'ébonite, la force

mentales et arrive aux conclusions suivantes :

« J'ai formulé trois lois qui n'ont pas été énoncées dans leur généralité par Maxwell et pourtant sont implicitement dans ses formules (éq. A, n° 591, éq. B, n° 598). C'est paradoxal ! Comment, des équations de Lagrange, Maxwell peut-il tirer les lois de la roue de Barlow incompatibles avec elles. Voici : il considère un conducteur filiforme (n° 594), les équations de Lagrange s'appliquent. Il y trouve les deux forces $|[p\alpha]$ (n° 595) et $|[x'\alpha]$ (n° 596); puis il étend les résultats aux corps à trois dimensions (n° 598) sans prendre garde que, dans ce cas, les équations de Lagrange ne donnent pas les deux forces trouvées pour les conducteurs filiformes. C'est agir en physicien, non en géomètre. Il importait de le dire ; c'est ce que nous avons fait en invoquant cette loi expérimentale : *Le rayon vertical de la roue de Barlow subit les mêmes effets que si c'était un conducteur filiforme.* »

électromotrice d'induction pourra être relevée de deux façons : si le champ magnétique est permanent, par un champ électrostatique suivant les rayons de la roue ; s'il est alternatif, par des courants alternatifs dans un conducteur joignant le centre à la circonférence. Inversement, la production de courants alternatifs synchrones avec le champ magnétique déterminera sur la roue une force pondéromotrice capable de la faire tourner.

» 4° Sur un courant vertical d'eau acidulée, établissez un champ magnétique nord-sud et une prise de circuit dans la direction est-ouest. Un courant électrique traversera le circuit.

» La deuxième expérience est classique et dispense de la première. La troisième expérience n'a pas été réalisée, que je sache. La quatrième l'a été par M. Bouty. »

Contribution à l'étude des tubes de Geissler dans un champ magnétique, par **H. Pellat.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1200.

Les tubes employés étaient cylindriques, avaient 1 m de long environ et 17 mm de diamètre extérieur; ils étaient pourvus de grosses électrodes en aluminium. L'un contenait des vapeurs d'alcool ou d'éther et donnait de belles stratifications ; un second ne contenait que de l'oxygène raréfié; le troisième, qui donnait aussi de très belles stratifications, contenait de l'hydrogène mélangé d'un peu d'azote (d'après l'analyse spectrale). Le champ magnétique était fourni par un électro-aimant Weiss. Les phénomènes observés étaient les mêmes pour les trois tubes. Ces phénomènes diffèrent suivant que l'axe du tube est perpendiculaire au champ magnétique ou lui est parallèle.

L'auteur considère le dernier cas comme plus intéressant que le premier [1] parce qu'il est paradoxal.

[1] Si l'on place un des tubes entre les pôles de l'électro-aimant de façon que sa direction soit perpendiculaire au champ magnétique, dès que le champ est produit on voit les phénomènes suivants.

La lumière anodique se réduit à un mince filet collé à la paroi du tube dans la partie où le champ est intense, ce qui est un phénomène bien connu et facilement explicable par l'action électromagnétique qu'exerce le champ sur le courant constitué par le flux anodique. Mais, en même temps, on voit les stratifications se resserrer dans la partie soumise au champ et d'autant plus que celui-ci est plus intense. Le tube étant assez long pour que l'anode et la cathode fussent sensiblement soustraites à l'action du champ, on peut remarquer que, pendant la période où le champ croît (qui est assez longue dans un puissant électro-aimant, à cause de la self-induction), les stratifications se tassent du côté où le champ est le plus intense, tandis que de nouvelles stratifications semblent s'échapper de l'anode ; du côté de la cathode, au contraire, les stratifications restent immobiles. A en juger seulement par les apparences, on dirait que la matière contenue entre deux strates obscures reste constante, pendant que le champ augmente d'intensité, et qu'elle se condense dans la partie soumise au champ, tandis qu'une nouvelle quantité de matière s'échappe de l'anode pour combler le vide produit par le tassement de la matière dans le champ. Ce n'est là qu'une image, bien entendu, pour faire comprendre l'aspect du phénomène. Il va sans dire que, si l'on fait décroître l'intensité du champ magnétique, on voit les phénomènes inverses se produire.

» En même temps on observe un autre phénomène : les stratifications, normales à l'axe du tube dans les parties non soumises à l'action du champ, deviennent obliques à l'axe dans le champ et d'autant plus que celui-ci est plus intense, sans toutefois que cette inclinaison dépasse 45°, autant qu'on en peut juger. (Je n'ai pas mesuré cette inclinaison ; elle n'est pas constante, du reste, dans l'étendue d'une même strate, car celle-ci prend une forme nettement courbe.)

» La loi de cette inclinaison est la suivante :

» *Les stratifications montent de la gauche à la droite d'un observateur qui serait placé dans l'axe du tube et qui regarderait dans le sens du champ* (qui regarderait le pôle sud). *Le plan de la strate contient la direction du champ.*

» Faisons remarquer qu'il est inutile d'indiquer si les pieds de l'observateur sont du côté de l'anode ou de la cathode, car si celui-ci venait à se retourner bout pour bout dans le tube, les stratifications monteraient encore de sa gauche à sa droite. Aussi, quand on vient à renverser le sens de la décharge dans le tube, le filet anodique dans le champ passe au côté opposé du tube, mais l'inclinaison des stratifications reste la même comme

« Pour observer ce phénomène, dit-il, le tube est placé dans les trous pratiqués à l'intérieur des pièces polaires, afin de laisser passer les rayons lumineux dans les expériences de polarisation rotatoire. La portion du tube placée entre les pièces polaires de l'électro-aimant se trouve ainsi dans un champ intense, suivant la direction de celui-ci. Dans mes expériences, ces pièces polaires étaient constituées par des cylindres de 0,07 m de diamètre, terminées par des faces planes, et distantes de 0,04 m à 0,05 m.

» En l'absence du champ, la portion du tube comprise entre les pièces polaires est complètement remplie par la lumière anodique ; mais, dès qu'on produit un champ intense (2 500 à 3 000 unités C.G.S.), on voit le faisceau anodique diminuer de diamètre et ne plus occuper qu'un tiers environ de la section du tube suivant l'axe, de façon que la lumière anodique ne touche plus les parois du tube.

» Il paraît difficile d'expliquer ce phénomène par une action électromagnétique : 1° parce que le courant est ainsi dirigé suivant la direction même du champ et que, du reste, tout est symétrique autour du tube; 2° parce que, si l'on change soit le sens du courant en intervertissant les rôles des électrodes, soit le sens du champ, le phénomène ne change pas de sens, ce qui est contraire à la loi des actions électromagnétiques.

» On ne voit donc comme possible qu'une action simplement magnétique : les gaz, s'ils sont magnétiques, doivent se condenser dans les parties où le champ a le maximum d'intensité, et, s'ils sont diamagnétiques, dans les parties où le champ a le minimum d'intensité. Au moyen de la petite bobine exploratrice de Verdet, j'ai étudié l'intensité du champ dans ses différentes régions : il est à peu près uniforme entre les pièces polaires; pourtant il a un maximum d'intensité sur l'axe de symétrie; on trouve qu'en face des trous des pièces polaires la valeur du champ est supérieure d'un trentième à la valeur qu'il possède en face du fer dans la partie voisine des trous. La concentration du gaz suivant l'axe du tube s'explique donc aisément pour un gaz magnétique, comme l'oxygène; mais le phénomène est le même pour l'hydrogène, et je me suis assuré dans ce cas, comme dans les autres, au moyen de l'analyse spectrale, de la nature du gaz qui compose le cylindre axial. Faut-il admettre que tous les gaz que j'ai étudiés, y compris l'hydrogène, sont magnétiques dans les circonstances où ils se trouvent quand ils sont illuminés par la décharge ? »

sens. Il en est autrement si l'on renverse le sens du champ magnétique : on voit alors l'inclinaison des stratifications changer de sens.

» Le phénomène se produit aussi bien dans un champ uniforme que dans un champ non uniforme, dans un champ constant que dans un champ variable Les champs les plus convenables pour bien voir ces phénomènes d'obliquité sont compris entre 90 et 170 unités C.G.S. Pour des champs plus intenses, les stratifications disparaissaient dans les tubes que j'ai employés.

Séance du 30 décembre 1901.

***Extension des deux lois de Kirchhoff*, par E. Carvallo.** *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1290-1293.

Après avoir rappelé les énoncés de ces lois applicables aux réseaux de conducteurs filiformes [1], l'auteur étend ces lois aux conducteurs à trois dimensions.

« Maxwell, dit-il, a défini le courant de conduction p au moyen de l'intensité i comme on définit le vecteur vitesse en un point d'un fluide au moyen du débit. Si C est la conductibilité, le vecteur $-\frac{p}{C}$ représente la force contre-électromotrice due à l'effet Joule par unité de volume. On peut définir de même un vecteur qui représente les forces électromotrices des piles, des effets Peltier et Thomson [2]. La résultante de ce vecteur et de $-\frac{p}{C}$ est la force résultante P. Avec ces deux notions vectorielles, courant p et force électromotrice P, les deux lois s'énoncent ainsi :

(1) *Première loi.* — La somme algébrique des intensités des courants qui aboutissent à un point du réseau est nulle.

Deuxième loi. — La somme algébrique des forces électromotrices des générateurs, des récepteurs et de Joule qu'on rencontre sur un contour fermé faisant partie du réseau est nulle.

(2) Ces forces doivent être théoriquement mesurées, comme celle de Joule, par des procédés dynamiques (quotient d'une quantité d'énergie par une quantité d'électricité), à l'exclusion des procédés statiques (électromètre), sous peine de tomber dans les confusions qui ont obscurci la question des forces électromotrices de contact appelées improprement différences de potentiel au contact.

» *Le flux du courant de conduction à travers une surface fermée est nul.*

» *L'intégrale de la force électromotrice le long d'un contour fermé est nulle.* »

Les deux énoncés supposent les courants établis à l'état de régime, le deuxième suppose en outre qu'on ne sort pas du conducteur. Pour lever ces restrictions, M. Carvallo considère la charge d'un condensateur par le courant d'une pile [1].

En terminant, M. Carvallo fait remarquer que la première loi peut être trouvée dans les formules de Maxwell (éq. E, n° 607); mais elle y apparaît comme la conséquence mathématique d'une hypothèse sur le champ magnétique produit par un courant ouvert et non comme un fait d'expérience directement observable. Quant à la seconde loi, les formules de Maxwell ne sauraient y conduire et M. Carvallo la croit nouvelle.

Sur une nouvelle réaction entre les tubes électrostatiques et les isolants, par **W. de Nicolaïève**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1293-1295.

Cette réaction spéciale s'observe dans le champ électrostatique que l'auteur a manifesté dans le sein des électrolytes pendant le passage du courant; les tubes de ce champ coïncident avec les lignes du courant, par suite, les matières

---

(1) « Pendant sa courte durée, le courant débite une quantité d'électricité

$$q = \int i dt$$

mesurée par des procédés dynamiques (voltamètre, galvanomètre balistique).

» Une première loi expérimentale est celle-ci : les faces A et B du condensateur prennent des charges qui, mesurées par des procédés électrostatiques, sont proportionnelles à $+q$ et à $-q$. Elles sont réparties sur la surface S du condensateur, de sorte que la densité superficielle peut être représentée par $\frac{q}{S}$, en choisissant les unités de façon que le coefficient de proportionnalité soit égal au nombre *un*. (Dans ce système d'unités, le coefficient $k\left(\frac{1}{K}\text{ de Maxwell}\right)$ de la loi de Coulomb $F = k\frac{qq'}{r^2}$ a les dimensions du carré d'une vitesse et l'expérience montre que cette vitesse est celle de la lumière). La force électrique du champ entre les deux faces du condensateur est, d'après les formules de l'Électrostatique,

$$X = 4\pi k \frac{q}{S}. \tag{1}$$

» Une deuxième loi expérimentale est que le courant de charge s'arrête quand la différence des valeurs du potentiel ψ entre les armatures A et B est égale à la force électromotrice E de la pile de charge *mesurée par des procédés dynamiques :*

$$E = \psi_A - \psi_B. \tag{2}$$

» Ces deux lois constituent la généralisation de celles de Kirchhoff comme je vais l'expliquer.

« Extension de la première loi de Kirchhoff aux courants variables. — Je considère une surface fermée qui enveloppe l'armature positive A du condensateur, mais qui laisse l'armature B à l'extérieur. A travers cette surface et à l'époque t de la période de charge, je considère deux flux : le flux du courant p qui pénètre par le conducteur de charge, c'est l'intensité $i = \frac{dq}{dt}$ d'après la définition de p; puis le flux de la force électrique X qui sort par la partie de la surface située entre les armatures, c'est $4\pi kq$ d'après les formules de l'Électrostatique. Le premier flux $\frac{dq}{dt}$ est égal au quotient par $4\pi k$ de la dérivée du second $4\pi kq$, c'est-à-dire au flux du vecteur $\frac{1}{4\pi k}\frac{dX}{dt}$. Ainsi le vecteur $\frac{1}{4\pi k}\frac{dX}{dt} = p_1$ complète le vecteur p, de façon que le flux total de ces deux vecteurs est nul; p_1 est le *courant de déplacement* de Maxwell; $p + p_1$ est le *courant total*; il se réduit à p dans un conducteur parfait, à p_1 dans un diélectrique parfait. La première loi de Kirchhoff généralisée s'énonce donc ainsi :

« *Le flux du courant total à travers une surface fermée quelconque est nul.*

« Extension de la deuxième loi de Kirchhoff aux diélectriques. — La formule (2), qui représente la deuxième loi du n° 3, peut s'écrire

$$0 = E + \psi_B - \psi_A.$$

$\psi_B - \psi_A$ est donc une force électromotrice qui équilibre la force électromotrice E qu'on trouve dans le circuit conducteur; par définition du potentiel $\psi_B - \psi_A$ est l'intégrale changée de signe de la force électrique X suivant le chemin qui va de A à B à travers le diélectrique. Si donc on considère un contour contenant deux parties, l'une dans le conducteur, l'autre dans le diélectrique, on trouve en chaque point une force électromotrice, P dans le conducteur, $P_1 = -X$ dans le diélectrique. Si le champ magnétique est variable, l'étude des courants d'induction enseigne qu'il faut ajouter à l'intégrale des forces électromotrices le long du contour la dérivée changée de signe du flux de l'induction magnétique a à travers ce contour. Telles sont les forces électromotrices que l'expérience révèle. Pourvu qu'on en tienne compte, l'énoncé de la deuxième loi demeure inchangé :

« *La force électromotrice totale qui règne dans un contour fermé est nulle.*

« Les vérifications expérimentales de cette loi généralisée sont nombreuses ; elles résultent de l'explorateur du potentiel le long du conducteur d'un courant à l'aide de l'électromètre.

isolantes, qui sont diélectriques pour les tubes du champ ordinaire, se comportent dans les électrolytes comme des matières diélectriques parfaites, c'est-à-dire dépourvues de perméabilité électrique. La Note relative aux divers effets du champ électrostatique au sein des électrolytes a été insérée dans les *Comptes rendus*.

L'auteur relate ensuite les expériences décrites ci-dessous (¹); dans trois d'entre elles, on observe des déplacements de bandes métalliques au sein d'un électrolyte liquide, l'eau distillée; dans la quatrième on produit le déplacement d'un diélectrique, le mica, au sein du même électrolyte.

(¹) « *Première expérience*. — On place dans l'eau distillée un système de deux plaques verticales isolatrices, réciproquement perpendiculaires, dont les sections horizontales AB et CD ont la forme d'un T (fig. 1) ; dans les angles dièdres formés par les plaques, immergent deux bandes d'étain de 15 cm à 20 cm de longueur et dont les sections horizontales sont K et L. Sous l'influence des tubes de l'espèce KDBCL, qui se forment dans l'eau pendant le passage du courant le long des bandes, ces dernières divergent et, si elles étaient chargées par les

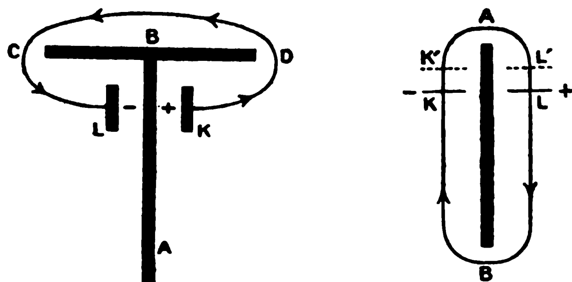


Fig. 1.

pôles d'un transformateur de 300 volts, les extrémités se déplaceraient de 20 mm vers C et D ; le complexe des tubes semblables à KDBCL peuvent exister seulement grâce à la réaction du diaphragme sur eux ; au contraire, les tubes agissent sur ce dernier en le comprimant.

» *Deuxième expérience*. — Deux bandes K et L (fig. 2) sont suspendues dans l'eau et séparées l'une de l'autre par une cloison en verre AB ; les tubes électrostatiques de l'espèce LAK déplacent les bandes dans les positions K' et L', de sorte que deux corps, unis par les forces réactives, se déplacent dans une même direction, ce qui est contraire à la loi fondamentale de la réaction ; la seule explication plausible est que l'arête A réagit sur les tubes LAK, qui jouent le rôle d'un élastique tendu, appuyé sur l'arête et tendant les bandes.

» *Troisième expérience*. — Deux fils ou bandes métalliques K et L (fig. 2), immergés dans l'eau, sont fixes et la cloison AB en mica, flottant au moyen d'un bouchon, est mobile ; étant dans la position AB, elle se meut de A vers B, contrairement au mouvement des bandes mobiles dans la deuxième expérience ; c'est la différence des tensions des tubes LAK et LBK qui constitue la force motrice. Quand l'arête A a passé la ligne des électrodes KL, les tubes issus des autres faces des électrodes agissent toujours dans la même direction ; quand le mica est parallèle au plan KL, elle s'éloigne d'eux ; ce mouvement est produit par les poussées des tubes : de pareilles poussées doivent éprouver les parois des vases contenant les électrolytes. Pour contrôler l'expérience et se persuader que ce ne sont pas les courants au sein du liquide qui produisent les mouvements du mica, on mettait en série deux électrolytes dont l'un et l'autre étaient de l'eau distillée ; après que le mica s'était mû dans un électrolyte, on dissolvait dedans une petite quantité de sel de chlorure de sodium ; le courant devenait plus fort, mais le champ électrostatique devenait plus faible et le mica ne montrait presque aucune trace de mouvement. (Les feuilles d'étain, flottant dans l'eau au lieu des plaques de mica, se comportaient d'une manière contraire.) L'auteur a l'intention de faire la troisième expérience au sein des gaz raréfiés, ou par l'effet de l'ionisation. Les tubes électrostatiques peuvent aussi coïncider avec les tubes du courant, mais où aussi entrera en compte l'influence des lignes statiques sur les parois.

» *Quatrième expérience*. — Un pendule en mica, mobile autour d'un axe léger en verre, parallèle à la ligne des électrodes et placé perpendiculairement à la ligne des électrodes d'une machine électrostatique de Holz, s'éloigne des électrodes si une partie du pendule masque la ligne des électrodes et oblige l'étincelle à se détourner de la voie la plus directe. Si l'air est ionisé par les charges des électrodes, l'effet peut être attribué aux réactions des tubes électrostatiques sur le bord du mica ; autrement, la cause du mouvement est tout autre. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 25 Janvier 1902. 9e Année. — N° 4.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES TRAINS A AUTOMOTRICES MULTIPLES

COMMANDÉES D'UN SEUL POINT

Généralités. — Diverses dénominations ont été proposées pour caractériser les modes de traction dont nous entreprenons l'étude et que la figure 1 fait très clairement comprendre. Le premier qui en ait fait la réalisation en service est M. Frank J. Sprague, qui en a doté le South side Elevated de Chicago (¹). Il lui a donné le nom de *Multiple Unit System*, pour indiquer le mode de composition du train, en éléments qui sont autant d'unités associables ou dissociables à volonté : « Chaque unité étant munie des moteurs, prises de courant et tous appareils propres à assurer son mouvement. Ces unités obéissent d'ailleurs à la commande d'un seul conducteur, qui peut se placer, pour diriger le train entier, sur une quelconque d'entre elles ».

La General Electric C° réalise exactement le même problème par un système propre qu'elle a longtemps expérimenté à Schenectady et qui a reçu une application très étendue au Manhattan Elevated de New-York (²). Elle a caractérisé ce système par le nom de *train control*, qui vise surtout les propriétés de la commande à distance des équipements entrant dans la composition d'un train.

M. Auvert a fait une application au chemin de fer de P.-L.-M. d'un système pneumatique décrit par M. Baudry à la Société des Ingénieurs civils, en 1900, sous le nom de

(¹) Il vient d'en faire une nouvelle application au nouveau Métropolitain de Boston, qui a été ouvert à l'exploitation en 1901.

(²) 800 équipements à 2 moteurs de 130 chevaux.

« servo-moteur pour commander, de la tête du train, les appareils électriques des voitures automotrices qui le composent ».

Enfin, la Compagnie américaine Westinghouse a créé un « système électropneumatique de commande » qui sera mis en application à Brooklyn (Etats-Unis).

Les trois premiers de ces systèmes ont, seuls jusqu'à ce jour, reçu des applications en

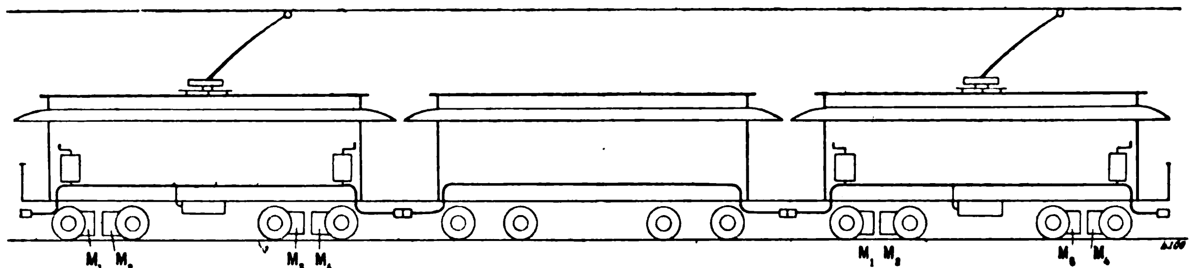


Fig. 1. — Train symétrique à deux automotrices.

Europe : nous signalerons les applications du Sprague et du système Thomson-Houston en France et en Angleterre ; celles du système Auvert au P.-L.-M., et nous examinerons l'emploi des systèmes étudiés pour réaliser seulement une partie des mêmes avantages dans le *cas particulier de deux voitures motrices seulement* (par exemple aux Chemins de fer de l'Ouest et au Métropolitain de Paris). Enfin, nous consacrerons peu de place, dans cette étude, aux systèmes plus ou moins différents qui n'ont pas reçu la sanction de la pratique.

Historique. — Dans l'historique des efforts faits pour introduire le nouveau système de traction dans la pratique américaine, on rencontrerait à chaque pas le nom de M. Frank J. Sprague, et la conscience des succès bien acquis lui a permis de dire fort justement, dans une étude consacrée au plus récent modèle de son système, que le mode de traction ainsi réalisé « n'avait plus besoin d'apologie ni de défense ». Mais ce qui est depuis longtemps admis aux États-Unis ne l'est pas encore en France, où toutes les discussions de naguère menacent de se répéter inutilement. On les évitera en voulant bien se reporter aux comptes rendus de l'American Institute of Electrical Engineers [1].

On y trouvera suffisamment justifiées les revendications exprimées par les promoteurs et résumées ci-dessous aussi brièvement que possible en quelques extraits.

La Compagnie française Thomson-Houston s'exprime comme suit dans un bulletin consacré à ses trains d'essai des Compagnies de chemins de fer de l'Ouest et de l'Orléans :

« Notre Compagnie, désireuse de perfectionner encore les systèmes de traction, a construit un matériel dit à « unités motrices multiples », susceptible de remplacer avantageusement les locomotives, même électriques, *dans le cas d'un trafic intense et variable*.

» Déjà, l'adoption des locomotives électriques avait permis d'obtenir des vitesses moyennes, non réalisables par la vapeur, en rendant les démarrages très rapides ; mais les accélérations nécessaires ne pouvaient être obtenues qu'en augmentant de plus en plus le poids adhérent de la locomotive, ce qui augmente en même temps le tonnage du train.

» La réunion du fourgon à bagages et de l'automotrice a déjà donné une utilisation meilleure du poids total et a permis de diminuer le personnel des trains. Mais pour arriver à avoir par voyageur un poids mort aussi réduit que

(1) Sprague. On Multiple Unit System of Electric Railways, 5 mai 1899. — Boynton. On Electric Traction. Discussion in New-York, 28 février 1900. — Voir aussi les numéros du *Street Railway Journal* de décembre 1898 et de mai 1900, ainsi que l'*Electrical World and Engineer* du 10 août 1901.

possible, nous avons été amenés à préconiser l'emploi de plusieurs unités motrices dans le train, ces unités étant, bien entendu, susceptibles de recevoir des voyageurs ou des bagages.

» Non seulement nous obtenons ainsi une adhérence aussi élevée que l'exige le démarrage et pouvant même atteindre le poids total du train, mais encore, nous pouvons proportionner le nombre d'unités motrices aux exigences du trafic à toute heure du jour, d'où résulte une traction plus rationnelle et plus économique des trains.

» Nous n'insisterons pas sur les avantages évidents résultant de leur symétrie parfaite, de leur réversibilité, de leur divisibilité en deux ou plusieurs parties, avantages qui seront surtout précieux pour les manœuvres de formation ou de dislocation dans les gares ou les dépôts. Nous notons en passant que le nombre des accidents graves et surtout des arrêts de service sera très sensiblement diminué, une avarie sur une automotrice n'entravant en rien le fonctionnement des autres. »

Les extraits suivants d'une publication de la Société française Sprague précisent encore ces considérations générales et font comprendre les conditions d'emploi où se manifestent le mieux les avantages des trains à unités multiples ; car il est impossible de faire abstraction des conditions d'emploi quand on pèse les avantages comparatifs de divers systèmes, aucun n'ayant une supériorité absolue qui en impose le choix dans tous les cas indistinctement.

Il s'en faut cependant que tous ces moyens de communication aient pour le voyageur les mêmes avantages. Les chemins de fer métropolitains qui à Londres, à Berlin et en Amérique ont précédé les tramways électriques, ont rendu, lors de leur création, de grands services. La fréquence des trains, le rapprochement des stations, la facilité avec laquelle, quelle que soit l'affluence des voyageurs, on peut satisfaire aux variations de la circulation, ont été longtemps des avantages très appréciés du public. Mais lorsque, grâce à l'électricité, l'exploitation des tramways s'est transformée, que leur vitesse commerciale a été sensiblement augmentée, que les départs beaucoup plus fréquents ont diminué et même supprimé l'attente aux stations, la concurrence de ce mode de locomotion a triomphé rapidement.

Le métropolitain, en effet, présente de nombreux inconvénients : le trajet à pied aux deux extrémités du parcours, l'attente aux stations, la fumée s'il est souterrain, etc. (En rapprocher les articles de M. Pellissier dans *L'Éclairage Électrique*).

Le tramway, au contraire, prend le voyageur presque à sa porte, et le dépose presque à son point d'arrivée, grâce à la multiplicité des lignes et à la facilité des correspondances ; la succession fréquente des voitures réduit la durée de l'attente ; enfin la traction électrique permet une sensible amélioration de la vitesse.

Ces avantages des tramways électriques sur les chemins de fer métropolitains tels qu'on les exploitait jusqu'ici soit en Amérique, soit en Europe, sont accusés dans ces dernières années par la décroissance considérable des recettes des métropolitains pour lesquels il fut évident, dès 1896, qu'il était impossible de lutter contre la concurrence sans transformer leur mode d'exploitation. Quels que soient, en effet, les avantages des tramways, ils présentent cependant un inconvénient irrémédiable, c'est, qu'empruntant la voie publique, ils sont soumis à tous ses accidents, ses obstructions et ses conditions de sécurité pour les passants. Il en résulte que leur vitesse maxima est limitée rigoureusement et que leur vitesse moyenne ou commerciale, en tenant compte de tous les arrêts, est nécessairement toujours faible. Au contraire, sur les métropolitains où la voie n'appartient qu'au trafic, cette vitesse n'est limitée que par les considérations d'exploitation ; elle peut être sensiblement augmentée et présenter, par conséquent, pour le public, à une époque où la question du temps prime les autres, un avantage très appréciable. C'est dans cette voie que les Compagnies américaines se sont résolument lancées et qu'elles ont trouvé le succès de leur concurrence actuelle contre les tramways.

Si l'on étudie pour une ligne métropolitaine ou de banlieue le problème de l'accélération de la vitesse des trains, on reconnait facilement que l'on peut agir sur quatre éléments :

1° La durée du démarrage, c'est-à-dire le temps nécessaire au train pour passer de la vitesse zéro à la vitesse maxima ;

2° La vitesse maxima ;

3° La durée du freinage, c'est-à-dire le temps nécessaire pour passer de la vitesse de marche à la vitesse zéro ;

4° La durée de l'arrêt ;

En général, les stations d'une ligne métropolitaine sont assez rapprochées pour qu'avec le mode actuel de traction, le train ait à peine atteint sa vitesse maxima au moment où les freins doivent agir pour arrêter à la station voisine.

Si on se reporte, par exemple, à la figure A qui donne la courbe a de démarrage d'une locomotive à vapeur d'un métropolitain américain, on reconnait que le train arrive à peine à atteindre une vitesse de 42 km à l'heure qu'il faut déjà freiner pour s'arrêter à la station suivante, distante de 570 m de sa voisine, et, qu'en ces conditions, la vitesse moyenne est à peine de 20,5 km : h. Le démarrage dure 60 secondes et le freinage 35 secondes. Avec ces données pourtant bien modestes, si l'on admet un train de 200 tonnes, on trouve que la puissance de la locomotive doit être de 900 chevaux. Si l'on voulait réduire le temps de démarrage à 30 secondes, la force nécessaire serait de 1 570 chevaux, et la locomotive serait-elle assez puissante que son adhérence serait insuffisante.

Il n'est donc pas possible, avec le mode de traction usité actuellement, c'est-à-dire avec des locomotives remorquant une série de wagons, d'accélérer sensiblement les vitesses des trains métropolitains ou des trains de banlieue. Ajoutons que, comme ces locomotives doivent pouvoir remorquer les trains de composition maxima, on n'a qu'un médiocre intérêt à leur faire traîner des poids moindres, et qu'on ne peut en multiplier le nombre par raison d'économie. Les Compagnies sont donc condamnées à n'avoir qu'une faible circulation de trains dont la composition reste sensiblement la même, quelle que soit l'affluence ou la rareté des voyageurs. Ce sont, on le voit, les pires conditions pour lutter contre la concurrence des tramways.

Du rapide exposé que nous venons de présenter il résulte que les lignes de chemins de fer urbaines ou suburbaines, en raison du rapprochement des stations, des variations énormes dans l'affluence des voyageurs, ont à satisfaire à un service très spécial auquel se plie mal une exploitation copiée sur celle des grandes lignes et que,

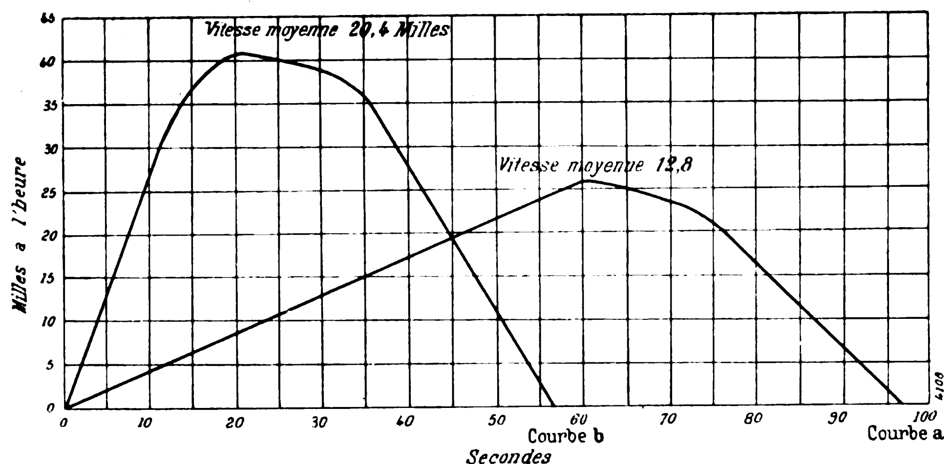


Fig. A. — Courbe des vitesses d'une locomotive à vapeur (courbe *a*) et d'un train électrique (courbe *b*) pour un même parcours.

si on a pu s'en contenter tant qu'elles constituaient pour les trafics qui nous occupent le seul mode de transport rapide à la disposition du public, la question est tout autre maintenant ; il est donc nécessaire, si elles veulent lutter contre les tramways, qu'elles accélèrent le démarrage.

Si nous nous reportons de nouveau à la figure A et que nous examinions la courbe *b* qui donne l'accélération d'une voiture électrique spéciale accomplissant le même parcours que la locomotive à vapeur dont nous avons déjà parlé, nous reconnaitrons que sur le même trajet on peut gagner 40 secondes, soit 45 p. 100 du temps, en augmentant l'accélération dans le rapport de 96 à 27,5. La vitesse maxima qui est de 67,2 km : h est atteinte en 21 secondes et la simple inspection de la courbe montre que pendant 20 secondes le train court sur son aire à une vitesse de 59 km : h. La vitesse moyenne se trouve élevée à 33 km : h et, si la puissance développée par tonne remorquée est beaucoup plus élevée, comme la locomotive est supprimée tout le poids du train est un poids utile. Enfin, la voiture étant, dans ce cas, automotrice, l'effort au démarrage peut atteindre jusqu'à 140 kg par tonne sans qu'on ait à craindre le patinage.

Il y a lieu d'observer que tout ce qui vient d'être dit au sujet d'un train remorqué par une locomotive à vapeur, soit sur les difficultés à augmenter la fréquence de la circulation, soit sur l'impossiblité à réaliser des démarrages rapides, s'applique exactement à tout genre de remorque.

C'est, en somme, le système des locomotives en général, qui doit être condamné dans une exploitation actuelle de métropolitains ; on est donc amené à substituer aux longs trains remorqués des trains composés d'une série de voitures automotrices, n'ayant chacune comme remorque qu'une ou deux voitures ordinaires. On pourra rendre ainsi aux métropolitains et aux chemins de fer de banlieue leur prospérité, menacée par la concurrence des tramways, en réalisant tous les avantages que nous avons reconnus nécessaires :

Facilité de démarrage grâce à un poids adhérent considérable réparti sur l'ensemble du train ;

Composition des trains variable selon l'affluence des voyageurs et, par conséquent :

Frais de traction sinon proportionnels aux variations de la circulation, du moins en rapport avec elles.

Les voitures automotrices sont bien moins lourdes que les locomotives et leur substitution à ces dernières entraine une sensible diminution dans les frais d'entretien de la voie et du matériel, ainsi que dans la longueur des quais nécessaires pour le service des trains d'une même composition.

On voit, par conséquent, le nombre d'avantages secondaires qui s'ajoutent dans le système Sprague aux avantages principaux dont l'étude rapide du problème de la circulation urbaine a démontré l'impérieux besoin, à savoir :

Formation de trains de composition variable avec l'affluence des voyageurs. Consommation d'énergie sensiblement proportionnelle à cette affluence ;

Augmentation de la vitessse moyenne par suite de la rapidité des démarrages permettant une circulation plus fréquente de trains.

En se prêtant à toutes les combinaisons de trains depuis le train ayant tous ses essieux moteurs jusqu'à la combinaison limite d'une voiture motrice unique remorquant le maximum de voitures ordinaires, le Multiple Unit System permet de réaliser toutes les accélératioes.

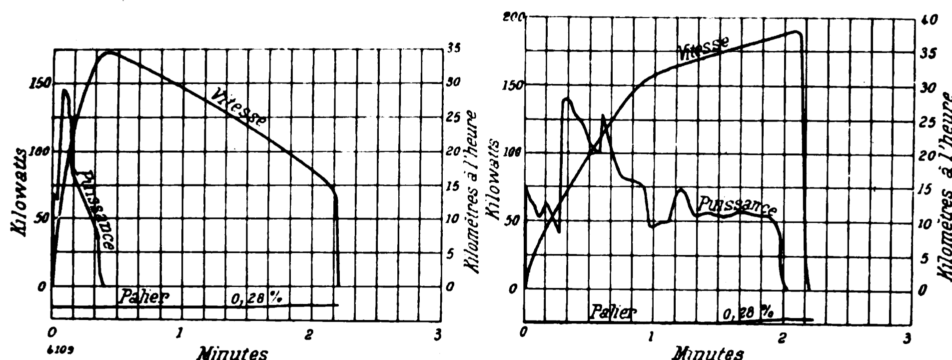


Fig. B. — Diagrammes des deux trains électriques, l'un à quatre voitures automotrices et l'autre à une voiture automotrice et trois de remorque.

Nous donnons à cet égard deux diagrammes très intéressants du même parcours (fig. B). Dans ces deux diagrammes le temps alloué pour le parcours total a été le même, soit 2 minutes 12 secondes.

Le premier se rapporte à un train formé de quatre voitures dont tous les essieux étaient moteurs. La puissance de ces moteurs a été suffisante pour permettre de démarrer le train en 22 secondes en le portant à une vitesse de 35 km à l'heure ; on a mis, à ce moment, les moteurs sur la marche à vide et le train a couru sur son aire (par vitesse acquise) jusqu'au moment du freinage qui a duré 8 secondes.

Le second diagramme se rapporte à un train composé d'une voiture motrice remorquant trois voitures ordinaires ; l'accélération a été infiniment plus lente ; elle a duré jusqu'au moment du freinage. Il est à remarquer qu'il a fallu dépasser la vitesse maxima du premier train pour faire le trajet dans le même temps.

Les résultats au point de vue de l'énergie dépensée sont les suivants :

0,47 kilowatt-heure dans le premier cas et 2,40 kilowatts-heure dans le second, soit, pour arriver au même résultat, une différence en faveur du premier train de 1,93 kilowatt-heure ou une économie des 4/5.

Nous emprunterons enfin à une notice publiée par la Société anonyme de Locomotion électrique le tableau comparatif ci-dessous (1), dans lequel sont systématiquement opposés

(1) Comparaison des avantages et des inconvénients inhérents aux locomoteurs électriques et aux trains électriques.

Locomoteurs électriques.

A_1 Composition des trains

I. — Le locomoteur remorque indistinctement tout le matériel roulant quelconque employé dans les chemins de fer.

II. — Son indépendance permet de le faire profiter de toutes les améliorations et de tous les perfectionnements réalisables en matière de traction électrique sans toucher aux voitures.

III. — Il est toujours possible d'ajouter aux trains des voitures quelconques, les jours d'affluence de voyageurs par exemple, et par suite de faire des trains plus lourds *à marche réduite* avec du matériel roulant de toute provenance.

Trains électriques.

Composition des trains A_2

I. — Le train nécessite l'emploi de véhicules moteurs ou non, mais qui doivent néanmoins recevoir *tous* un équipement *spécial* : 1° une conduite d'air supplémentaire destinée à relier les réservoirs d'air principaux des voitures motrices ; 2° deux canalisations électriques distinctes, destinées à assurer le synchronisme de fonctionnement des voitures motrices.

Il en résulte donc l'impossibilité de remplacer ou d'ajouter au train une voiture motrice ou non, équipée par un autre système que celui qui existe dans la composition primitive du train par suite de la non-interchangeabilité des éléments qui constituent deux types de

quelques-uns des caractères distinctifs des trains à automotrices multiples et des trains remorqués par locomoteurs, pour le plus grand avantage de ces derniers. L'auteur de ce tableau

---

« A_1 II. — Il n'est nullement permis de penser qu'un tel perfectionnement serait moins applicable aux automotrices qu'aux locomoteurs.

» A_1 III. — De ce qu'une telle surcharge soit possible au détriment de l'horaire, il ne s'ensuit pas qu'elle soit bonne, ni surtout préférable à la régularité de marche d'un train dont la puissance motrice sera proportionnée à son poids, tout en maintenant la proportion maxima de poids utile. »

B_1 Traction

I. — Le locomoteur est susceptible d'effectuer la remorque de trains identiques à ceux que remorquent les locomotives à vapeur, c'est-à-dire avec le minimum d'unités et le *maximum de sécurité*.

« B_1 I.— Ne semble-t-il pas au contraire que le maximum de sécurité réside dans l'emploi du maximum d'unités, puisqu'une avarie à l'une d'elle laisse disponible les autres au lieu d'immobiliser le train. »

C_1 Manœuvres

I. — Aux points terminus, le locomoteur doit se remettre en tête du train.

A cet effet, le conducteur change de poste sur le même véhicule, fait le parcours de la longueur du train et refait les essais du frein.

Pour cette manœuvre simple et rapide, on met à profit les *trois à quatre minutes nécessaires* pour la descente et l'écoulement des voyageurs, et les quelques instants que nécessite l'embarquement des nouveaux voyageurs (généralement les voyageurs attendent les manœuvres, et ce n'est pas le contraire qui a lieu).

II. — Il est bien entendu que le locomoteur ne permet pas de supprimer dans les terminus les appareils de voie, tels que plaques tournantes, etc., nécessaires au remaniement des rames, ou à d'autres modes de traction existant concurremment ou à titre de réserve.

« C_1 I. — Avec un métropolitain dont les accès laissent beaucoup à désirer, et avec un public pourtant parisien, la durée d'arrêt nécessaire aux voyageurs est de 20 secondes, au lieu de 3 à 4 minutes de manœuvres.

D_1 Exploitation

I. — Le locomoteur, qui représente le plus gros capital engagé dans la formation d'un train, est toujours en service, soit pour un trafic intense, soit pour un trafic réduit (pour le premier il doit être d'un grand poids adhérent utile ; pour le deuxième il devient poids mort.

II. — Dans ce dernier cas, le matériel inutilisé peut être employé à tout autre usage, puisqu'il ne reçoit aucun équipement spécial pour être remorqué par un locomoteur.

« D_1 I. — Pour un service intense il doit être d'un grand poids : pour un trafic réduit, c'est un poids mort qui représente une proportion élevée du poids remorqué, trains différents (on peut dire de même des éléments du locomoteur).

II. — A plus forte raison, le matériel ordinaire non équipé ne peut s'incorporer dans la composition d'un train.

Il s'ensuit, après l'adoption d'un système, l'obligation de ramener à ce type tous les véhicules destinés à la traction électrique sur un réseau.

III. — De là impossibilité de profiter de la concurrence ou d'employer un autre système plus perfectionné ou moins coûteux, à moins de transformer tout le matériel.

La situation est analogue à celle résultant de l'emploi des différents freins Westinghouse, Wenger, etc...

« A_2 I. — Il est bien évident qu'un train à automotrices n'a aucune répugnance à laisser atteler à sa suite autant de remorques non équipées qu'un train à locomoteur ; mais il perdrait ainsi l'avantage de sa symétrie et deviendrait l'égal du locomoteur à ce point de vue. Il y a une seule canalisation d'air et une seule électrique, si on veut maintenir distincts les réservoirs de compression.

« A_2 II et III. — L'unification des types en service sur un réseau a toujours été préférable à la diversité, et les locomoteurs ne permettent pas mieux que les automotrices de soustraire une exploitation aux conditions de la concurrence ou du progrès ; elles en sont au contraire une forme plus définitive. »

Traction B_2

I. — Pour remorquer un train d'un poids équivalent à celui que remorquerait une locomotive à vapeur ou un locomoteur électrique, il est indispensable d'employer un plus grand nombre de véhicules moteurs, d'où résultent les inconvénients inhérents à la multiplicité des organes, surtout pour obtenir le synchronisme de fonctionnement.

II. — On peut raisonner par analogie avec les inconvénients que présente la double traction au moyen des locomotives à vapeur, mais avec cette circonstance aggravante que les locomotives se trouveraient réparties d'une manière quelconque dans la composition du train.

« B_2 I. — C'est en effet la condition qui s'impose logiquement quand les efforts à développer deviennent trop considérables pour l'adhérence d'une seule voiture. Aussi les locomoteurs pèsent-ils autant que deux automotrices d'égale puissance, sans pouvoir recevoir comme elles le poids utile (doublement utile puisque adhérent) de 80 ou 100 voyageurs.

» B_2 II. — L'expérience a démontré l'inanité de ces appréhensions. »

Manœuvres C_2

I. — Dans le train électrique, il y a suppression de manœuvre du véhicule de tête aux points terminus, mais le conducteur doit descendre et effectuer le parcours de la longueur du train pour monter sur la voiture motrice extrême.

s'est malheureusement placé dans les conditions de la traction à vapeur, et il a passé crédit aux locomoteurs électriques de tous les avantages spécieux qui résultent de sa similitude avec les locomotives à vapeur. Plus semblables à celles-ci, les locomoteurs électriques ont exactement les mêmes sujétions et bénéficient de l'habitude et de la routine créées par l'emploi prolongé de la vapeur.

---

d'où majoration élevée du prix de traction par tonne utile.

» D_2 II. — C'est au contraire pour l'efficacité du locomoteur qu'il faut désirer cette condition irréalisable, car il est approprié à sa charge maxima, son poids est établi pour le maximum d'effort à développer, auquel correspond le maximum de rendement de la traction. Si un tracteur pour 150 tonnes en pèse 50 on peut dire que son rendement s'élève à 75 p. 100 s'il remorque 150 tonnes, à 50 p. 100 seulement s'il n'en remorque que 50. »

E_1 Dangers

I. — Il n'existe aucun danger spécial pour les voitures remorquées par un locomoteur.

II. — De plus, si un accident survient au locomoteur, il peut être réparé immédiatement par les hommes chargés de sa conduite.

« E_1 II. — On sait les difficultés que présentent les réparations en cours de route ; elles ne sont pas plus faciles sur un locomoteur qu'une automotrice, mais elles peuvent s'imposer plus impérieusement puisque le locomoteur n'offre pas l'avantage d'une automotrice avariée, d'être mise hors circuit automatiquement ou au gré du mécanicien, et ramenée au dépôt par les autres.

» E_1 I et E_2 I et II. — Les automotrices de tramways et nombre d'automotrices de métropolitains ou chemins de fer transportent des voyageurs ; et la traction électrique s'est acquis cet avantage sur la vapeur et cette réputation d'être aussi sûre pour le personnel des trains que pour les voyageurs. »

F_1 Dépenses

I. — Le prix du locomoteur est connu et la dépense d'entretien sera bientôt établie (elle l'est).

II. — Pour les commandes importantes, il est probable que le prix pourrait subir une diminution, et quant à l'entretien, il deviendrait normal.

« F_1 I. — Il eût été intéressant de donner des chiffres, en remarquant que F_1 II s'applique aussi bien aux deux cas, que F_2 I devrait mentionner charge utile égale au lieu de charge identique qui escamoterait les poids morts. Enfin F_2 II sera rectifié dans l'exemple que nous donnerons plus loin. »

Il refait également les essais du frein.

Comme avec le locomoteur ou tout autre moyen de traction, il faut compter avant de repartir sur le temps indispensable à la descente, à l'évacuation et à la montée des voyageurs.

Par conséquent, il n'apparaît pas sur ce point un avantage quelconque.

II. — De même que le locomoteur, l'emploi du train électrique ne permet pas la suppression des appareils de voie aux terminus ou aux gares de distribution pour les mêmes motifs que ci-contre.

Exploitation D_2

I. — Pour tirer un parti efficace du train électrique, il faut que tous les véhicules conjugués soient constamment en service. Son poids est établi pour le maximum d'effort à développer auquel correspond le maximum de rendement de la traction (c'est au contraire l'efficacité du locomoteur, car il est approprié à sa charge maxima).

II. — Dans la période de trafic réduit, la partie du matériel inemployé est inutilisable pour un autre usage et par conséquent, cette immobilisation est une lourde charge de l'exploitation.

« D_1 II. — Acceptant le cas d'un matériel de remorque transformé, c'est-à-dire que traverse un câble se terminant aux deux bouts par deux coupleurs, nous ne voyons pas les raisons qui en interdiraient l'usage comme remorque dans n'importe quelles conditions, et qui le rendraient inutilisable. Il n'y en a pas. »

Dangers E_2

I. — Dans un train électrique plusieurs voitures étant en prise, il existe dans chacune d'elles une cause d'accident, l'incendie par exemple. L'exploitation devant être économique, les conducteurs du train seront montés uniquement sur la voiture motrice d'avant. Si donc un court circuit se produit dans une voiture autre que celle qui est en tête, le personnel non prévenu, ne peut remédier à cet accident. Il en résultera pour les voyageurs de la voiture avariée de graves dangers, surtout avec des voitures en bois susceptibles d'incendie.

II. — L'inconvénient signalé est analogue à celui qui se produirait dans la traction à vapeur si la chaudière placée sur un véhicule occupé par des voyageurs n'avait pas de mécanicien pour en surveiller le fonctionnement.

Dépenses F_2

I. — Pour établir par comparaison le prix d'un train, il faut le composer d'un nombre de véhicules conjugués capables de remorquer une charge utile identique à celle que remorque un locomoteur.

II — Sans avoir encore des données très précises, il n'est pas douteux que la dépense pour l'équipement d'un train dépasse le double de la valeur d'un locomoteur.

Mais il faut bien reconnaître que cet avantage négatif ne saurait être admis comme une supériorité réelle.

Avant de s'être fait accepter dans nombre d'installations, où il a supplanté avantageusement la machine à vapeur, le locomoteur électrique a été lui-même très vivement critiqué pour ses sujétions propres, incomparablement plus inquiétantes alors pour son avenir que ne le sont aujourd'hui celles qu'on met à la charge des trains à unités motrices multiples. Et ces sujétions si redoutées au début, la connexion électrique des rails de retour de courant et l'installation d'un rail supplémentaire d'amenée de courant pour chaque voie, n'ont pas paru neutraliser dans tous les cas les avantages à en retirer.

On reproche au train à unités multiples de nécessiter l'emploi de quelques fils légers sur toutes les remorques indistinctement (ce qui n'est exact qu'au cas où on tient à tous les avantages réunis du train-type, y compris la symétrie). Si, dès lors, on tient à ces avantages au point de ne faire abandon d'aucun d'eux comme sujétion, pourquoi en faire abstraction et ne pas les mettre en balance ? Il convient d'ailleurs d'ajouter que toute remorque peut être utilisée, transformée ou non, et que sa transformation peut se faire en tous les cas pour quelques centaines de francs. Minime objection, en vérité, si on la rapproche de celle que rencontrait l'emploi de locomoteurs électriques à ses débuts, et qui en a si peu contrarié le développement industriel !

Nous avons accompagné ce tableau de quelques remarques entre guillemets visant les points qui n'auraient pas été suffisamment éclaircis déjà dans ce qui précède. Nous n'évoquerons pas ici les avantages oubliés dans ce tableau, mais leur *discussion générale*, *en vue d'une conclusion générale*, serait impossible autant qu'inutile, et nous nous réservons d'y substituer le calcul d'un exemple où tous ces détails seront considérés.

Principes et caractères généraux des divers systèmes. — Il serait fastidieux d'inventorier les appareils des divers systèmes de trains à automotrices multiples sans avoir esquissé la genèse de chacun d'eux, et montré ses rapports avec les autres, et avec le problème lui-même tel qu'il a dû se poser aux inventeurs.

Pour tous ceux qui ont entrepris de lui donner une solution générale, il se résumait à réaliser automatiquement sur toutes les voitures les manœuvres que réalise le mécanicien d'une voiture de tramway.

I. — Ou on faisait appel à l'électricité seule, et on arrivait aux types Sprague et Thomson-Houston, l'automaticité étant le caractère distinctif du premier, l'asservissement absolu celui du second ;

II. — Ou on faisait appel à la seconde source d'énergie dont on dispose sur un train, ses réservoirs d'air comprimé; selon que cette seconde source d'énergie est employée seule ou en combinaison avec la première, on arrive aux deux types Auvert ou Westinghouse. Nous étudierons d'abord le principe et la composition des deux premiers systèmes.

(A suivre.)

J.-W. Blakstone

NOTES
SUR LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL EN ALLEMAGNE

Le nom de Marconi est et restera intimement lié au problème de la télégraphie sans fil. Non seulement le jeune savant italien a été le promoteur des premières applications réellement pratiques, mais, par ses efforts incessants et son habileté, il est arrivé à perfectionner ses appareils du début d'une façon telle qu'il obtient maintenant des résultats absolument remarquables. Tout au moins sous le rapport de la distance franchie, il dépasse de beaucoup ce qui a été réalisé ailleurs.

Il ne faut cependant pas croire — et on est encore souvent tenté de le faire en France — que Marconi et ses ingénieurs soient seuls à remporter des succès dans cette voie. Dès le début, les prétentions exagérées de la Compagnie anglaise Marconi, qui voulait faire payer très cher ses brevets, déterminèrent, dans tous les pays, de nombreux chercheurs à essayer, chacun de leur côté, de résoudre les nouveaux problèmes. En France, en Russie, en Allemagne, aux Etats-Unis, des travaux très intéressants ont été faits sur ce sujet et de nombreuses expériences ont donné des résultats qui sont bien loin d'être à dédaigner.

Nous ne parlerons pas de ce qu'a fait dans cette voie la marine française; elle tient d'ailleurs, avec juste raison, à ne pas divulguer les travaux de ses officiers, et les résultats des essais effectués à bord des bâtiments de guerre n'ont été publiés nulle part. En revanche, il ne nous paraît pas inutile de revenir avec quelques détails sur ce qui se fait à ce sujet en Allemagne, où des physiciens distingués en même temps qu'expérimentateurs habiles étudient très complètement la question d'une façon méthodique et semblent arriver à des résultats également dignes d'attention.

A plusieurs reprises, *L'Éclairage Électrique* a déjà donné des résumés de ces expériences et des dispositifs employés. Aujourd'hui, nous voudrions ajouter quelques détails à ce qui a été dit, en faisant pour cela des emprunts à plusieurs articles parus cette année dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, ainsi qu'à deux brochures publiées récemment par les auteurs des expériences : « Die neuesten Forschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie », par le professeur Slaby, de Berlin, et « Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft », par le professeur Braun, de Strasbourg.

Nous parlerons successivement des essais de ces deux professeurs, chacun d'eux ayant des idées directrices bien particulières.

I. — Expériences du professeur Slaby [1]

Les dispositions originales de M. Slaby sont surtout relatives au récepteur.

D'après lui, la solution qu'il préconise a été trouvée par une voie purement théorique et confirmée tout d'abord au laboratoire par de longues mesures sur des dispositions expérimentales particulières.

Soit un oscillateur simple et symétrique, composé de deux boules A et C (fig. 1) auxquelles sont reliés respectivement deux fils tendus AB, CD, égaux et dont la longueur l est de l'ordre de celle des antennes employées habituellement. En AC, on fait jaillir un jeu continu d'étincelles en reliant les boules aux deux pôles d'une bobine de Ruhmkorff. Dans chacun des fils, dans AB par exemple, se propage l'ébranlement électrique oscillatoire de période T produit en A, et ce fil est le siège d'une onde électrique stationnaire de longueur λ.

Pour des longueurs l suffisantes, comme on les rencontre seulement dans la pratique, la théorie de M. Slaby, qui d'ailleurs ne développe pas ses calculs, le conduit aux équations sui-

(1) Voir en particulier un article paru dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 10 janvier 1901, déjà analysé dans *L'Écl. Élect.* du 23 février 1901, t. XXVI, p. 307.

vantes :

$$\lambda = 4l,$$

et

$$\frac{dV}{dx} = Ae^{-\frac{R}{2L}t} \cos 2\pi \frac{t}{T} \cos \frac{\pi}{2l} x,$$

où V désigne le potentiel en un point dont la distance à l'extrémité est x, R et L la résistance et la self-induction d'une des branches, supposées, ainsi que la capacité, uniformément réparties sur toute la longueur.

Ces deux formules montrent que la longueur de l'onde qui prend naissance dans le fil est égale à quatre fois la longueur du fil et que les tensions alternatives qui se produisent dans ce fil suivent une loi harmonique simple en fonction de la longueur. A l'extrémité libre du fil se forme



Fig. 1.

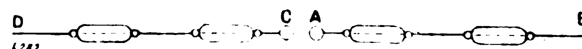


Fig. 2.

constamment un ventre de vibration, et à l'étincelle, en A, il y a un point nodal pour la tension.

Si, au lieu de considérer les tensions le long du fil, on cherche à déterminer les intensités de courant, on trouve qu'elles suivent une marche inverse, c'est-à-dire qu'elles sont maxima à l'étincelle et que leur plus faible valeur est à l'extrémité. Un ventre de tension est un nœud pour l'intensité et inversement.

On peut avoir une vérification grossière de cette marche de l'intensité de la façon suivante :

Dans chacun des fils AB, CD (fig. 2), on intercale des lampes à incandescence à filaments linéaires ; leur allumage montre qu'elles sont parcourues par un courant oscillatoire ; mais, en même temps, on constate que les lampes sont d'autant plus brillantes qu'elles sont plus rapprochées de l'étincelle. Des mesures plus précises montreraient que l'intensité, comme la tension, suit une marche sinusoïdale.

La démonstration expérimentale de la marche des tensions n'est pas aussi simple. M. Slaby est parvenu pourtant à la bien mettre en évidence en faisant agir dans l'obscurité, sur une bande sensible photographique appliquée le long du fil, le rayonnement émanant de ce fil, dû uniquement aux tensions existant en chaque point.

Les images photographiques développées montrent un accroissement régulier de la tension vers l'extrémité libre du fil ; des expériences poussées plus loin donnèrent même la loi sinusoïdale et démontrèrent l'existence d'ondes électriques stationnaires.

Les courbes de la figure 3 montrent la répartition indiquée ci-dessus des tensions et des intensités le long du fil.

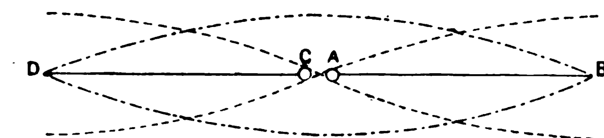


Fig. 3.

En résumé, pour ce qui concerne la transmission, l'idée dominante de M. Slaby est la suivante :

Dans une antenne simple, de longueur suffisante, telle que celles employées couramment dans la pratique, où la résistance, la capacité et la self-induction sont réparties uniformément le long du fil, il se développe une onde électrique stationnaire dont la longueur ne dépend que de celle de l'antenne et est égale à quatre fois la longueur de l'antenne. De plus, à l'extrémité libre, il y a un ventre pour la tension et un nœud pour l'intensité ; l'inverse a lieu à l'étincelle. L'antenne est supposée excitée avec des oscillations très rapides, contrairement à ce qui se passe dans les expériences de Braun, que nous verrons plus loin.

Nous avons considéré précédemment un transmetteur à deux fils symétriques ; il n'y a absolument rien de changé à ce qui a été dit, au point de vue de la distribution des tensions et des courants, si un des fils AB seulement existe, l'autre pôle C de l'étincelle étant mis immédiatement à la terre.

C'est le cas du premier transmetteur Marconi dans sa plus grande simplicité (fig. 4).

Et dans ce cas, c'est exactement, dit M. Slaby, « comme si, dans la terre, l'image optique du fil vertical CD′ recevait et conduisait les courants oscillatoires ».

Il y a toujours en A un nœud et en B un ventre pour la tension.

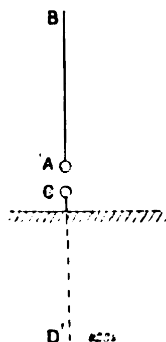
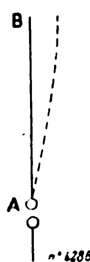


Fig. 4.



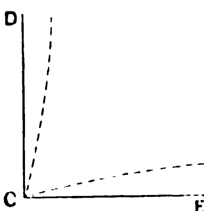


Fig. 5.

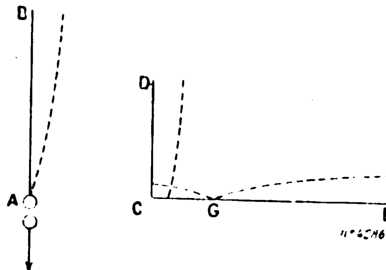


Fig. 6.

Passons maintenant à la transmission à distance et à la réception des effets produits, analysés précédemment.

Pour comprendre l'agencement du récepteur Slaby, il suffit de se reporter aux expériences suivantes, décrites par l'auteur [1]. Ce sont des expériences de laboratoire, où l'on met en jeu des oscillations très rapides ou oscillations hertziennes.

1. Si l'on fait agir le rayonnement électrique émanant d'un fil rectiligne AB (fig. 5) sur un deuxième fil de même longueur parallèle CD, tendu à une certaine distance, il se développe également dans celui-ci des tensions alternatives suivant la même loi harmonique que dans le premier, dès qu'on a créé un nœud au point C qui est en face de l'étincelle, en reliant ce point à la terre.

Les mesures sont effectuées d'une façon parfaitement sûre, avec un micromètre à étincelles bien calibré, dont un des pôles est à la terre. On peut explorer plus grossièrement avec des tubes de Geissler, qui s'illuminent plus ou moins, suivant la grandeur de la tension à laquelle ils sont soumis.

2. Si l'on ajoute au fil secondaire CD (fig. 5) un prolongement CE de mêmes dimensions, perpendiculaire à CD, c'est-à-dire non soumis à l'induction, il y a en C un point nodal par lequel se propagent les oscillations pour produire de nouveau en E un ventre de vibration de même force qu'en D. Une mise à la terre en C n'y change rien.

3. Si le fil récepteur CD (fig. 6) est plus petit que le fil inducteur, c'est-à-dire plus petit que le quart de la longueur d'onde inductrice, il se développe aux extrémités D et E du fil plié à angle droit des tensions alternatives maxima de même grandeur, seulement dans le cas où la longueur totale DCE est égale à une demi-longueur d'onde

$$DCE = 2AB.$$

En G, au milieu de la longueur totale, se trouve un nœud libre. Une mise à la terre en C n'affaiblit le ventre, qui est en E, que dans une mesure peu importante.

4. Si le récepteur a la forme d'une boucle (fig. 7), D relié avec H, E et F se terminant librement, il se développe, en CD et GH d'une part, en CE et GF d'autre part, des oscillations complètement de même forme, qui possèdent des ventres de vibration tout aussi bien en D et en H qu'en E et en F, des nœuds en C et G.

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift* du 10 janvier 1901.

Un micromètre à étincelles intercalé entre E et F ne révèle aucune tension, aucune différence de phase.

5. Si maintenant on jonctionne en E un autre bout de conducteur EJ (fig. 8) d'une longueur

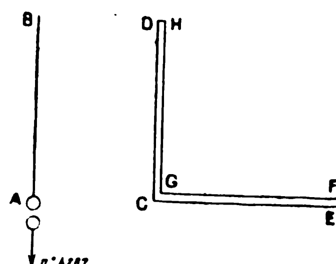


Fig. 7.

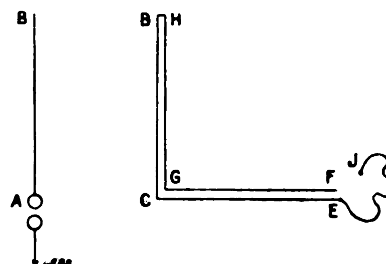


Fig. 8.

égale à une demi-longueur d'onde, il y a entre E et J une différence de phase de 180°. Le micromètre intercalé entre J et F donne des étincelles près de deux fois aussi longues que lorsqu'on le met entre F et la terre. On s'en rend compte facilement par la figure 9.

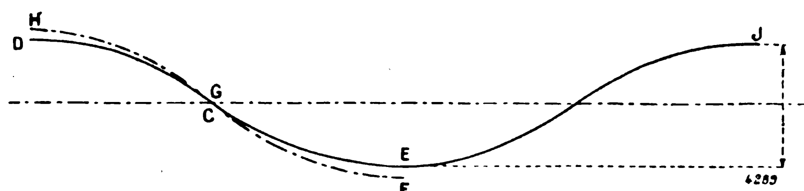


Fig. 9.

On voit immédiatement le parti qu'on pouvait tirer de ces expériences et de nombreuses autres auxquelles M. Slaby fait allusion pour les dispositions à donner aux récepteurs de la télégraphie sans fils.

M. Slaby admet tout d'abord que la perturbation électrique dont est le siège le fil transmetteur se propage à travers l'espace et arrive à l'antenne réceptrice, également sous la forme d'une onde stationnaire dont la longueur est égale à quatre fois la longueur de l'antenne de transmission — en ne considérant bien entendu qu'un transmetteur simple, tel que celui dont il a été question jusqu'à présent.

Nous pouvons remarquer en passant que c'est là précisément un des points délicats et obscurs où la théorie est obligée de faire une large place à l'expérience.

Supposons donc que la perturbation arrive au lieu de réception et communique à l'antenne réceptrice une vibration électrique analogue à celle observée sur le fil CD des expériences citées précédemment.

Si l'antenne de réception est identique à celle de transmission, nous devons avoir par analogie un ventre de tension à l'extrémité libre et un nœud à l'extrémité inférieure, soit que celle-ci ait été mise à la terre, soit qu'on y ait relié directement le cohéreur, dont la capacité est très considérable, comme l'ont montré de nombreuses expériences. C'est ce qui fait dire à M. Slaby que la disposition généralement adoptée jusqu'à présent est fausse en principe, puisqu'elle ne permet pas de tirer tout le parti possible des tensions maxima qui se produisent dans l'antenne.

Si, en effet, on admet que le cohéreur répond surtout à la tension, ce qui est probable, il doit être placé pour avoir son maximum d'effet à un ventre de tension. Dans la disposition simple ordinaire, il n'y a que des tensions très faibles à la jonction du cohéreur, tandis que le ventre se produit au sommet de l'antenne qui est inaccessible. L'expérience (2) montre que pour tourner la difficulté, il suffit de créer un nœud en bas de l'antenne par une mise à la terre et de prolonger

l'antenne par un fil de longueur égale au bout duquel se produira un ventre de même intensité que celui de l'extrémité supérieure ; le cohéreur, placé à l'extrémité de ce fil auxiliaire, et par conséquent accessible, sera dans les meilleures conditions possibles.

Le fil auxiliaire ne sera pas nécessairement rectiligne, mais pourra très bien être enroulé en bobines équivalentes.

Dans ce qui précède, il n'est pas nécessaire de s'occuper de la disposition exacte du poste transmetteur, et en particulier de la longueur d'antenne. Ce qui importe pour les arrangements récepteurs, c'est la longueur de l'onde stationnaire qui y arrive ; dans le cas simple que nous avons pris, cette longueur d'onde était en relation directe avec la longueur d'antenne transmettrice ; mais nous verrons qu'on peut la modifier à volonté par l'intercalation de condensateurs ou de self-inductions convenables.

Pour disposer le poste récepteur suivant la méthode Slaby, nous supposons donc qu'il arrive à ce poste des ondes de longueur λ. Nous pourrons établir une antenne réceptrice de longueur égale à $\frac{\lambda}{4}$, la mettre à la terre pour y créer un nœud, la prolonger par un fil de longueur égale à $\frac{\lambda}{4}$, et mettre le cohéreur à l'extrémité de ce fil auxiliaire.

Mais la nouvelle disposition a un autre grand avantage. L'expérience 3 (fig. 6) montre qu'on peut utiliser comme antennes des conducteurs déjà existants et mis à la terre par leur nature, tels que : mâts de bateaux, paratonnerres, girouettes, etc. Soit H la hauteur d'un tel conducteur naturel ; il suffira, pour être dans des conditions presque aussi bonnes que précédemment, de jonctionner à la prise de terre un conducteur supplémentaire de longueur l telle que

$$H + l = \frac{\lambda}{2}$$

et de mettre le cohéreur à l'extrémité de ce fil.

Enfin, il est visible que cette disposition va permettre de résoudre beaucoup plus facilement qu'aucune autre le problème capital de la télégraphie sans fil, nous voulons parler de la syntonie.

Dans un poste organisé comme il vient d'être dit, le cohéreur répond parfaitement à des ondes d'une longueur déterminée ; toutes celles d'autres longueurs pour lesquelles la prise de terre n'est plus un nœud exact, ou plutôt pour lesquelles la somme $H + l$ ne représente pas une demi-longueur d'onde, se perdront à la terre ou ne parviendront au cohéreur qu'avec une intensité incomparablement moindre que celles pour lesquelles l'appareil est accordé.

L'agencement étudié permet encore de disposer une station avec une seule antenne, naturelle ou non, pour la réception d'ondes de longueurs différentes. Il suffit d'avoir un assortiment convenable de bobines auxiliaires sans self-induction de longueurs différentes l, l', l''....., telles que

$$H + l = \frac{\lambda}{2} \qquad H + l' = \frac{\lambda'}{2} \qquad H + l'' = \frac{\lambda''}{2}.$$

Les différents postes transmetteurs avec lesquels on peut avoir à communiquer envoyant des ondes de longueur λ, λ'..., en installant un récepteur à l'extrémité de chacune des bobines l, l'..., on pourra recevoir, avec la même antenne et simultanément, des télégrammes arrivant de directions et de distances tout à fait différentes.

Les expériences faites en public par M. Slaby et rapportées dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 10 janvier 1901, montrent que les résultats justifient amplement les prévisions et permettent de considérer le problème de la syntonie comme très avancé. Ces expériences ont été relatées dans *L'Éclairage Électrique* du 23 février 1901.

Influence de la terre. — Si nous nous reportons à la figure 8 de l'expérience 5, nous voyons que cette disposition permet, en intercalant le cohéreur entre les points F et J, de lui appliquer directement une tension double et en même temps de le libérer complètement de la terre.

Ce montage a de plus l'avantage très précieux de rendre le cohéreur indépendant des charges

statiques de l'atmosphère, et tous ceux qui s'occupent de télégraphie sans fil savent combien sont gênantes ces influences extérieures.

On peut encore simplifier, et au lieu du fil double, employer un fil simple DCEJ et intercaler le cohéreur entre les points E et J (fig. 10).

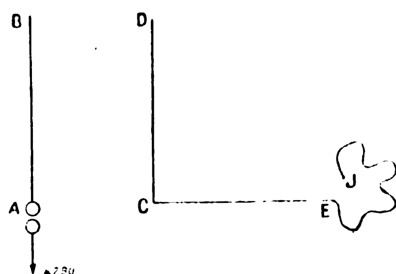


Fig. 10.

En fait, le comte Arco a parfaitement reçu avec l'appareil ainsi modifié sans aucune liaison à la terre. M. Slaby remarque que par là, « on réfute ainsi l'opinion fréquemment reçue que, dans la télégraphie sans fil, une part essentielle revient à la transmission par la terre ».

Multiplicateur. — En essayant d'enrouler le conducteur supplémentaire EJ (fig. 8 et 10) sous forme de bobine pour le rendre plus maniable, M. Slaby constata un jour à l'extrémité de ce fil, un accroissement extraordinaire de la tension ; il étudia alors de plus près dans quel sens cet effet dépendait de la forme et de l'enroulement de la bobine, et il arriva à déterminer, pour chaque cas particulier, une bobine spéciale de renforcement à laquelle il donne le nom de *multiplicateur*.

Ce genre de bobine n'est pas un appareil nouveau, comme le pensait au début M. Slaby; mais ainsi que le fait justement observer M. Blondel [1], il est connu depuis longtemps en France par les physiciens et les physiologistes sous le nom de « résonateur Oudin ». Des résonateurs unipolaires et bipolaires ont été employés ces dernières années et leurs propriétés sont parfaitement connues.

M. Seibt, assistant du professeur Slaby, a toutefois publié dans l'*E. T. Z.* du 18 juillet 1901, un essai de théorie très intéressant du rôle de cette bobine. Nous donnons ci-dessous un résumé de cette théorie [2].

---

[1] *Elektrotechnische Zeitschrift* du 22 août 1901.

[2] Sur la théorie du multiplicateur (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 18 juillet 1901) (Extrait d'un article de M. Seibt, assistant au Laboratoire électrotechnique de la Technischen Hochschule, à Charlottenburg). Nous avons vu que l'effet de cette bobine équivaut à celle d'un transformateur de tension. Bien qu'il y ait un seul enroulement, s'il est convenablement calculé et accordé sur la nature et la fréquence du courant oscillatoire qu'on lui fournit, on peut obtenir à l'extrémité libre un accroissement de tension très considérable.

Si on veut l'employer au poste transmetteur, cette bobine sera donc un précieux moyen d'expédier des ondes sous une plus forte tension sans avoir touché à la source. Mais son utilité sera encore beaucoup plus grande au récepteur, car cet effet du multiplicateur disparait immédiatement et même au contraire se renverse, lorsqu'on alimente la bobine avec une tension alternative dont la fréquence n'est pas convenable. Il en résulte un moyen très net de sélection des ondes, et une facilité plus grande d'arriver à la syntonie des postes.

Pour expliquer le rôle de la bobine, M. Seibt fait un certain nombre d'hypothèses :

La tension au commencement de la bobine varie suivant une loi sinusoïdale.

La résistance, la capacité, le self-induction sont uniformément réparties sur le conducteur (r, c et L par unité de longueur).

Les pertes de courant par suite d'isolement défectueux et de rayonnement des masses électriques sont prises en considération ; leur influence pourra être exprimée par un seul facteur g.

Il n'y a pas d'induction venant de l'extérieur.

Si on considère un élément de courant dx la première loi fondamentale des courants alternatifs se traduit par l'équation

$$\frac{\partial E}{\partial x}\, dx = Ir\, dx + \frac{\partial I}{\partial t}\, L\, dx$$

r et L se rapportant à l'unité de longueur.

L'effet de charge est exprimé par :

$$\frac{\partial E}{\partial x}\, dx = \frac{\partial I}{\partial x}\, \frac{dt}{c}.$$

Avec les hypothèses faites, les équations précédentes peuvent s'écrire sous la forme symbolique connue (imaginaires de Steinmetz)

$$dE = I\,(r + i\omega L)\, dx \qquad (1)$$
$$dI = E i\omega c\, dx$$

Le multiplicateur, inséré entre l'extrémité du fil auxiliaire CE (fig. 5 et suiv.) et le cohéreur accroît considérablement la tension qui agit sur ce dernier et par suite augmente dans une large

---

En introduisant le facteur g qui tient compte des dérivations, cette dernière devient :

$$dI = E(g + i\omega c)\,dx \qquad (2)$$

La solution de ces équations est (Steinmetz. *Wechselstrom Erscheinungen*. Berlin, 1900. — Rössler. *Vorlesungen über Fernleitung von Wechselströmen*. — Non publié).

$$(3) \qquad E = c_1 e^{vx} + c_2 e^{-vx} \qquad I = \sqrt{\frac{g + i\omega c}{r + i\omega L}}\,(c_1 e^{vx} - c_2 e^{-vx}) \qquad (4)$$

c_2 et c_1 sont des constantes d'intégration qui se déterminent d'après les conditions particulières du problème.

v dépend des données de la bobine et de la fréquence du courant et a la signification suivante :

$$v = a + ib = \sqrt{(r + i\omega L)(g + i\omega c)}$$

a et b étant ici de nouvelles constantes qui se déduisent de l'équation précédente.

Pour interpréter physiquement les résultats, il faut d'abord mettre l'équation (3) sous une forme réelle ; et on a besoin en premier lieu de la détermination des constantes c_1 et c_2.

Dans l'hypothèse que la bobine est ouverte, nous obtenons pour l'extrémité libre :

$$I = \sqrt{\frac{g + i\omega c}{r + i\omega L}}\,(c_1 e^{vx} - c_2 e^{vx}) = 0$$

et, lorsque la distance x est comptée dans le sens de l'énergie croissante, pour l'extrémité libre, $x = 0$; il vient donc :

$$I_{x=0} = \sqrt{\frac{g + i\omega c}{r + i\omega L}}\,(c_1 - c_2) = 0 \qquad \text{ou} \qquad c_1 = c_2$$

et, pour $x = 0$

$$E = c_1 + c_2 = 2c_1.$$

Comme origine du temps, choisissons le moment où la tension à l'extrémité passe par zéro. Admettons ainsi que le retard de phase est nul, et par conséquent aussi la partie imaginaire de E.

Alors

$$E_{x=0} = E_{0\,max} = c_1 + c_2 \qquad \text{et} \qquad c_1 = c_2 = \frac{1}{2}\,E_{0\,max}$$

où $E_{0\,max.}$ désigne l'amplitude de la tension à l'extrémité.

L'équation (3) développée avec

$$v = a + ib \qquad \text{et} \qquad c_1 = c_2$$

devient :

$$E = \frac{E_{0\,max}}{2}\,(e^{ax}e^{ibx} + e^{-ax}e^{-ibx})$$

ou sous forme réelle :

$$E_{x,t} = \frac{E_{0\,max}}{2}\,[e^{ax}\sin(\omega t + bx) + e^{-ax}\sin(\omega t - bx)] \qquad (5)$$

Deux grandeurs de forme sinusoïdale, de même période avec les amplitudes C et D et les phases φ_1 et φ_2, se composent généralement en une seule fonction sinusoïdale dont l'amplitude G et la phase φ sont données par les équations :

$$G = \sqrt{C^2 + D^2 + 2CD\cos(\varphi_1 - \varphi_2)}$$

et

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \frac{C\sin\varphi_1 + D\sin\varphi_2}{C\cos\varphi_1 + D\cos\varphi_2}$$

Si nous appliquons ces formules à l'équation (5), on a :

$$E_{x\,max.} = \frac{E_{0\,max.}}{2}\,\sqrt{e^{2ax} + e^{-2ax} + 2\cos 2bx} \qquad (6)$$

et

$$\mathrm{tg}\,\varphi = \mathrm{tg}\,bx\,\frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}}. \qquad (7)$$

mesure la sécurité et la portée des transmissions. Mais cela à une condition essentielle : c'est qu'il soit parfaitement accordé pour les ondes auxquelles le poste récepteur doit répondre. Dans le cas

---

La nature des équations (6) et (7), qui forment la base du développement ultérieur, est parfaitement déterminée par les coefficients a et b.

Comme on avait

$$v = a + ib = \sqrt{(r + i\omega L)(g + i\omega c)}$$

on en tire, après quelques transformations simples, les valeurs :

$$a = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\sqrt{(g^2 + \omega^2 c^2)(r^2 + \omega^2 L^2)} + gr - \omega^2 Lc\right]}$$

$$b = \sqrt{\frac{1}{2}\left[\sqrt{(g^2 + \omega^2 c^2)(r^2 + \omega^2 L^2)} - gr + \omega^2 Lc\right]}$$

La signification générale des équations (6) et (7) peut maintenant être rendue plus claire au moyen de cas particuliers.

(α). — La transmission des courants alternatifs se fait par câbles concentriques. Les deux conducteurs, qui peuvent être très peu distants l'un de l'autre, sont parfaitement isolés.

Dans ce cas, g et L sont nuls, et nous avons

$$a = b = \sqrt{\frac{1}{2}\omega cr}$$

Alors

$$E_{x\,max} = \frac{E_{0\,max}}{2}\sqrt{e^{2x\sqrt{\frac{1}{2}\omega cr}} + e^{-2x\sqrt{\frac{1}{2}\omega cr}} + 2\cos\left(2x'\sqrt{\frac{1}{2}\omega cr}\right)}$$

ou, en développant en série les expressions sous le radical, et posant :

$$2x\sqrt{\frac{1}{2}\omega cr} = z$$

on a

$$E_{x\,max} = E_{0\,max}\sqrt{1 + \frac{z^4}{4!} + \frac{z^8}{8!} + \ldots\ldots}$$

On voit ainsi que la tension croît d'une façon continue depuis l'extrémité postérieure ou extrémité libre (E_x max. croît en même temps que z ou que x).

Pour la rapidité de son accroissement, la capacité, la résistance et la fréquence ont la même importance, puisqu'elles se présentent comme trois facteurs d'un même produit.

La phase varie en général avec la distance x. Mais aux points distants l'un de l'autre d'une longueur $\lambda = \frac{2\pi}{a}$, l'état vibratoire est le même, de sorte que, jusqu'à un certain point, on peut parler dans ce cas d'ondes se propageant dans le sens du conducteur.

Avec cette manière de voir, la longueur d'onde est :

$$\lambda = \frac{2\pi}{a} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{2}\omega cr}}$$

et la vitesse de propagation

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda\omega}{2\pi} = \sqrt{\frac{2\omega}{cr}}$$

elle dépend des propriétés du conducteur et de la fréquence des vibrations électriques imprimées à ce conducteur.

On a là en quelque sorte des ondes progressives, et, à un moment donné, la tension le long du câble pourrait être représentée par une courbe analogue à celle de la figure a.

(β) La fréquence est celle des oscillations, extrêmement rapides, mises en jeu par l'étincelle électrique, ou oscillations hertziennes. Elle est assez grande pour que, dans l'évaluation des coefficients a et b, les termes seuls qui contiennent ω soient pris en considération.

On a alors approximativement :

$$a = 0 \quad \text{et} \quad b = \omega\sqrt{Lc}$$

contraire, loin d'augmenter l'action, il l'affaiblit considérablement. Par là, il est donc un nouveau moyen d'arrêter les ondes étrangères reçues par l'antenne qui ont pu, malgré la disposition indi-

---

$$E_{x\,max} = \frac{E_{0\,max}}{2}\sqrt{1 + 1 + 2\cos\left(2x\omega\sqrt{Lc}\right)}$$

ou

$$E_{x\,max} = E_{0\,max}\cos\left(\omega x\sqrt{Lc}\right)$$

avec

$$\operatorname{tg}\varphi = 0.$$

Les amplitudes de la tension suivent donc le long du conducteur une loi harmonique, et l'angle de phase est partout égal à zéro. Ce sont là les caractères des ondes stationnaires.

La longueur d'onde est

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{Lc}}$$

et la vitesse de propagation

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{1}{\sqrt{Lc}}.$$

Si nous comparons ce cas au précédent, nous pouvons faire ressortir que :

1° L'onde progressive s'est transformée en une onde stationnaire.

2° Les amplitudes ne varient pas d'une façon continue, mais forment des nœuds et des ventres.

3° La vitesse de propagation est devenue indépendante de la fréquence des vibrations initiales, et est déterminée seulement par les constantes électriques du conducteur.

En calculant la self-induction et la capacité de celui-ci, dans le cas où la longueur l est très grande et le rayon r très petit, on arrive, pour la vitesse de propagation, au résultat

$$v = \frac{1}{\sqrt{Lc}} = 3.10^{10}\text{ cm}$$

c'est-à-dire que v est égal à la vitesse de la lumière.

Mais le cas considéré ne saurait jamais se produire dans la pratique ; c'est un cas limite. Nous avons négligé en effet la résistance et la déperdition tout en supposant l très grand et r très petit.

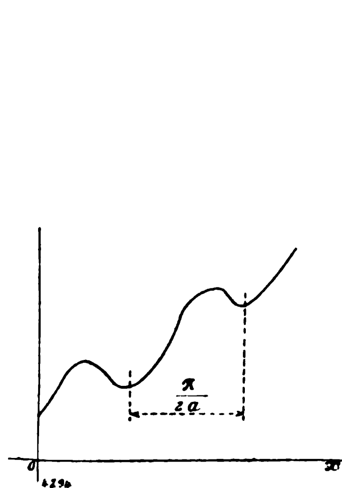


Fig. a.

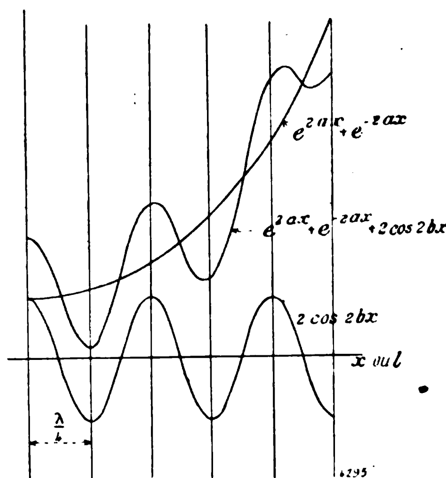


Fig. b.

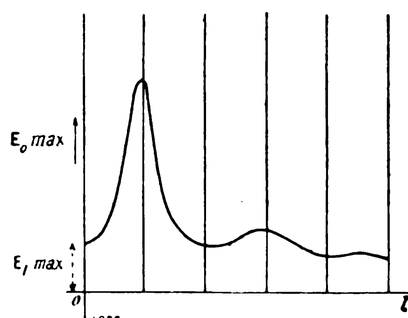


Fig. c.

En réalité au lieu de nœuds et de ventres parfaits, dans les applications visées, il ne se produit que des maxima et des minima, dont la grandeur est déterminée par les facteurs de perte g et r.

(γ) Reprenons maintenant le cas général, tel qu'il se présente dans la pratique.

La représentation graphique de l'équation 6 est très claire et se prête très bien à la recherche plus approfondie de ce qui se passe avec les oscillations rapides.

Dans la figure b, on a porté comme ordonnées fonctions de x (x étant la distance à l'extrémité libre de la bobine),

****

quée, arriver affaiblies à l'extrémité du fil auxiliaire CE, et de n'admettre au cohéreur que des ondes de longueur bien déterminée. Il facilite beaucoup de ce fait l'accord des postes, l'obtention

---

les parties principales du radical

$$\sqrt{e^{2ax} + e^{-2ax} + 2\cos 2bx}$$

c'est-à-dire

$$e^{2ax} + e^{-2ax}$$

et

$$2\cos 2bx$$

et pour avoir un aperçu sur la marche de la tension, ou plus exactement du carré de la tension, sur la même figure est tracée la courbe ayant pour ordonnées en chaque point la somme des ordonnées correspondantes des deux autres. Cette dernière courbe montre que le long du fil, l'amplitude de la tension croit graduellement en passant par des élévations et des abaissements ondulatoires.

La grandeur des coefficients a et b a été choisie ici telle qu'ils peuvent se trouver pour une bobine excitée avec les oscillations hertziennes.

En tenant compte de ce qui précède, il reste maintenant à résoudre la question capitale qui se pose, à savoir : dans quelles conditions le multiplicateur produit-il le plus grand accroissement de tension ?

Nous supposerons d'abord que les constantes de la bobine sont données par unité de longueur, et nous chercherons à faire un choix judicieux de la longueur totale de la bobine pour produire à l'extrémité des maxima énergiques.

L'équation (6) peut être écrite sous la forme suivante, en y remplaçant x par l

$$\frac{E_{l\,max}}{E_{0\,max}} = \frac{1}{2}\sqrt{e^{2al} + e^{-2al} + 2\cos 2bl}$$

Comme variable indépendante, nous considérons alors la longueur l de la bobine, et comme fonction le rapport des tensions au commencement et à la fin :

$$\frac{E_{l\,max}}{E_{0\,max}}.$$

Quand ce rapport est minimum, il y a un maximum pour l'accroissement de la tension. Nous pouvons utiliser encore une fois la figure b, en introduisant partout au lieu de la distance x la longueur totale de la bobine l. Mais la figure c fait mieux comprendre ce qui se passe.

Elle représente la tension à l'extrémité de la bobine $E_{0\,max}$ comme fonction de la longueur pendant que la tension au commencement $E_{l\,max}$ est maintenue constante.

Elle peut être déduite de la figure 15 et correspond à l'équation :

$$E_{0\,max} = \frac{2\,E_{l\,max}}{\sqrt{e^{2al} + e^{-2al} + 2\cos 2bl}}.$$

Des figures b et c, nous pouvons maintenant déduire le rôle du multiplicateur et tirer les conclusions importantes suivantes :

Etant donné un enroulement dont les constantes électriques r, c et L sont fixées par unité de longueur, suivant la longueur totale employée, la tension à l'extrémité peut être plus grande ou plus petite que la tension au commencement.

La tension initiale restant constante le long du fil, elle subit des maxima et des minima ; le premier maximum est toujours le plus grand, et est en dedans d'une longueur de bobine égale à $\frac{\pi}{2b}$, c'es-à-dire en dedans d'un quart de longueur d'onde.

Les autres maxima s'aplanissent d'autant plus rapidement que la courbe exponentielle monte plus vite ; ils sont à des distances l'un de l'autre toujours plus petites qu'une demi-longueur d'onde et diminuant toujours avec des longueurs de bobine croissantes.

Nous avons supposé jusqu'ici les constantes du fil données et étudié la variation des effets avec la longueur de la bobine. M. Seibt fait également une analyse plus détaillée de l'influence de la résistance, de la capacité et de la self-induction ; il étudie la variation des coefficients a et b avec r, c et L, et il arrive finalement aux conclusions suivantes :

Pour réaliser des conducteurs permettant les plus hautes tensions possibles, il faut avoir un isolement parfait, une faible résistance, une faible capacité avec une haute self-induction.

Comme il le fait remarquer, ces conditions reviennent à dire plus simplement qu'il faut diminuer autant que

de la syntonie, et il empêche complètement le poste récepteur d'être troublé par des transmetteurs étrangers non accordés.

Aussi bien que le montage de la figure 8, sans relation avec la terre, les autres dispositions Slaby — avec ou sans multiplicateur, l'extrémité inférieure de l'antenne à la terre — ont également l'avantage d'éviter les troubles fréquents et gênants dus à l'électricité atmosphérique ; la mise à la terre est alors une excellente chose à ce point de vue.

Disposition des postes. — *Transmetteur.* — Dans la description du récepteur, nous avons supposé qu'il arrivait à la station réceptrice des ondes de longueur parfaitement déterminée. Dans le cas simple considéré, cette longueur d'ondes ne dépend, d'après M. Slaby, que de la longueur d'antenne employée. Toutefois, on peut la modifier à volonté en intercalant sur l'antenne un condensateur qui, en même temps qu'il augmente la longueur d'onde, permet d'accroître également la quantité d'énergie mise en jeu [1].

Une des dernières dispositions employées au transmetteur par M. Slaby est représentée schématiquement par la figure 11 [2].

L'antenne consiste en un fil dressé verticalement et suspendu à une verge de girouette, à la tête d'un mât, etc. Elle est amenée jusqu'en bas à la terre où elle est reliée à une bonne prise de terre, à une conduite d'eau par exemple.

Une boucle de ce fil peut être amenée dans la chambre où sont les appareils et est excitée en A par l'étincelle d'une bobine d'induction. L'autre pôle de l'étincelle est mis à la terre par un condensateur C et au besoin une self-induction.

Suivant les idées de M. Slaby, le fil ébranlé électriquement par l'étincelle en A, est le siège de vibrations dont la longueur d'onde est égale à 4 fois celle du fil (un ventre à l'extrémité et un nœud à la prise de terre). Si l'on veut télégraphier avec une plus grande longueur d'onde, il suffit d'intercaler dans le fil de terre une bobine additionnelle B, figurée en pointillé; et la nouvelle longueur d'onde devient égale à 4 fois la longueur totale du fil, antenne et bobine. Seulement, dans chaque cas, il est nécessaire, pour obtenir l'effet maximum, « que la vibration dans le circuit formé par les liaisons à la terre soit accordé sur la vibration de l'antenne ». On obtient cet accord d'une façon simple en agissant sur le condensateur C et la self-induction S variables à volonté. Il se produit alors, dans l'antenne, un effet de résonance très favorable à l'accroissement de l'action. D'une façon générale, d'ailleurs, quand on a dans un agencement d'appareils, transmetteur ou

---

possible les pertes d'énergie par la chaleur du courant de charge, les dérivations et le rayonnement des masses électriques.

En tenant compte de ces conditions, on trouve facilement l'explication simple de ce fait prouvé par l'expérience, qu'une bobine, mieux que n'importe quel conducteur de même longueur, est particulièremant capable de produire des élévations de potentiel. La forme des bobines n'est pas indifférente ; et les conditions ci-dessus seront remplies le mieux possible si l'on donne aux bobines de multiplication la forme de cylindres courts ou d'anneaux à section circulaire (petite capacité et grande self-induction). Seulement, si l'on remarque qu'entre des spires présentant une différence de potentiel considérable, il se produit un échange fâcheux de masses électriques à travers l'air et l'isolant, il sera convenable de prendre un moyen terme, en combinant les multiplicateurs comme les secondaires des bobines d'induction, c'est-à-dire en les formant d'une série de disques juxtaposés.

M. Seibt recherche également à quelle fréquence une bobine de dimensions données répond le mieux (précédemment, dans l'hypothèse qu'on n'était pas lié à une longueur de bobine déterminée, il avait trouvé comme favorable l'emploi d'une fréquence aussi haute que possible). L'auteur arrive alors à l'équation de résonance.

$$nT = 4\sqrt{c'L'}$$

L' et c' étant la self-induction et la capacité totale du conducteur, n peut prendre différentes valeurs ; mais M. Seibt montre que pour la production des potentiels terminaux le plus hauts possible, il est favorable de faire $n = 1$, et d'empêcher le développement fâcheux des nœuds et des ventres précédents. La bobine vibre en un quart d'onde. Nous avons vu d'ailleurs que, en fonction de la longueur, le premier maximum était le plus grand et dans le voisinage d'un quart de longueur d'onde.

[1] *L'Écl. Élect.* t. XXVI, p. 307, 23 février 1901.

[2] *Die neuesten Forschritte auf dem Gebiete der Funkentelegraphie.*

récepteur, deux circuits vibratoires connexes, ouverts ou fermés, en relation l'un avec l'autre, directement ou par induction, il faut toujours chercher à réaliser ces conditions de résonance.

Récepteur. — Au récepteur, si l'on ne prend pas un conducteur déjà existant, on peut se servir de la même antenne que précédemment à laquelle est fixé un fil de prolongement sous forme d'une bobine équivalente V (fig. 12). Le ventre de tension à l'extrémité de cette bobine est renforcé par une bobine de multiplication accordée M et celle-ci est reliée immédiatement au cohéreur.

Il est également possible de remplacer les deux bobines V et M par une seule d'enroulement équivalent. Le conducteur de terre du cohéreur contient l'élément de pile et le relais, qui sont shuntés par un condensateur.

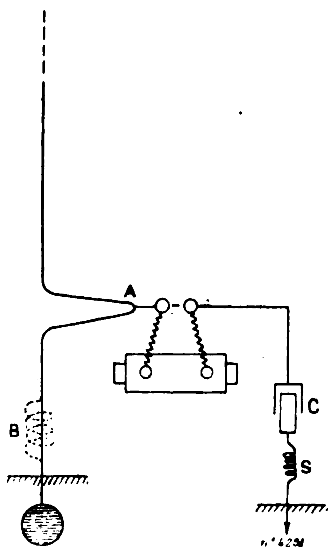


Fig. 11.

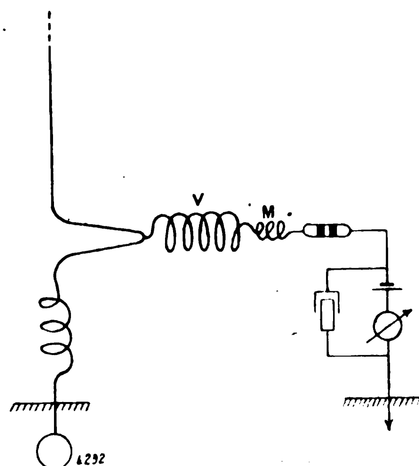


Fig. 12.

Par les dispositions que nous venons d'indiquer, l'Allgemeine-Elektricitäts-Gesellschaft, qui construit les appareils, garantit l'accord sur les longueurs d'onde déterminées, dans les limites convenables — non spécifiées — et la sûre interprétation des signaux à 100 km sur mer, avec des hauteurs de mâture de 50 mètres.

M. Slaby ne dit pas à quelle distance il pense télégraphier avec ses nouvelles dispositions. Jusqu'à présent, il n'a d'ailleurs pas cherché à obtenir le record de distance. En télégraphie sans fil, dit-il avec juste raison, il y a deux choses à séparer soigneusement : d'une part, la sécurité d'un service continu entre les mains d'employés peu instruits, et d'autre part le record à obtenir, par tous les moyens possibles dont disposent le savant et l'ingénieur, de l'accroissement de l'effet et de la sensibilité. Le premier problème, dit l'auteur, est de beaucoup le plus difficile à résoudre et le plus important, et c'est pourquoi il l'a pris tout d'abord en considération.

La détermination de la distance maxima qu'on peut atteindre suivra prochainement, d'autant plus que la marine de guerre a équipé un certain nombre de ses navires avec les nouveaux appareils, dont on pourra faire des essais plus complets.

Indicateurs d'intensité. — Il n'a été question dans tout ce qui précède, comme partie sensible du récepteur, que du cohéreur, c'est-à-dire d'un indicateur de tension.

Il faut ajouter cependant qu'on pourrait avoir des indicateurs d'intensité très sensibles également. Dans ce cas, il est évident qu'il faudrait les placer, contrairement aux dispositions précédentes, en des ventres du courant qui se trouvent être des nœuds pour la tension.

La disposition figurée schématiquement en figure 13 conviendrait très bien dans ce but [1].

---

[1] *Die neuesten Forschritte*, etc.

Le contact microphonique M n'a en lui-même qu'une faible résistance et peut être intercalé dans la prise de terre du fil récepteur sans troubler les vibrations électriques.

Les courants oscillatoires très faibles qui traversent le contact M se superposent au courant continu envoyé par une batterie B dans le circuit microphonique et mettent ce circuit en faible vibration. Si ces vibrations sont transformées en T, on peut les déceler très faiblement avec un téléphone. Ce son ne correspond pas évidemment, aux oscillations proprement dites de la décharge, mais simplement aux premiers ébranlements de chaque étincelle; par suite le son entendu au téléphone correspond aux interruptions de l'enroulement primaire de la bobine.

Le récepteur microphonique est de beaucoup, dit l'auteur, le moyen le plus sensible que nous puissions employer pour la réception des signaux de la télégraphie sans fils. Entre l'usine Schiffbauerdamm à Berlin et la fabrique de câbles Oberspree, distantes en ligne droite de 14 km, mais séparées par la ville de Berlin dans sa plus grande étendue, on pût obtenir par ce moyen une communication parfaitement sûre avec une antenne réceptrice longue de 12 m seulement, et encore cette antenne était à l'abri de grands bâtiments.

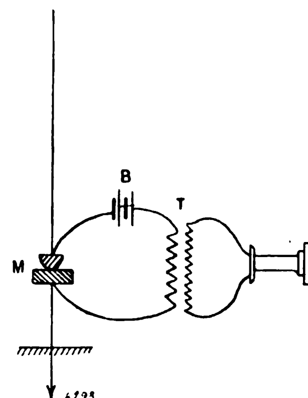


Fig. 13.

Malheureusement ce récepteur téléphonique se limite à quelques cas isolés; il a le grand défaut de ne laisser aucune trace des signaux transmis. Les faibles courants ondulatoires qu'il admet, ne permettent pas l'utilisation d'un relais avec appareil inscripteur, pour fixer les signes en écriture Morse par exemple. C'est ce qui fait que, partout, le cohéreur est utilisé comme partie sensible du récepteur.

(*A suivre.*)

J. Reyval

TRAMWAYS NOGENTAIS

La Compagnie des Chemins de fer Nogentais, fondée en 1884, avait pour objet, lors de sa formation, l'installation et l'exploitation d'une ligne de tramways destinée à relier Vincennes à Ville-Evrard en desservant Nogent. Il fut ensuite établi un embranchement afin de relier la commune de Bry à la ligne principale.

La ligne de Vincennes-Ville-Evrard fut mise en service en 1887, et l'embranchement de Bry en 1888. A ces lignes vint s'adjoindre ensuite l'embranchement de Rosny et le réseau, ou plutôt l'embryon de réseau ainsi formé, représentait 17 km de lignes; il était exploité au moyen de l'air comprimé.

Ce système de traction présentait de grands inconvénients pour la Compagnie des Chemins de fer Nogentais; elle était obligée, en effet, de créer, en cas d'extension, soit une canalisation très onéreuse, soit plusieurs usines de compression et différents postes de rechargement; de plus, le système de traction lui-même entraînait un coefficient d'exploitation très élevé.

Elle songea alors à réformer son système de traction et à solliciter des pouvoirs publics la concession de plusieurs autres lignes ou embranchements, de façon à former le réseau homogène qu'elle possède aujourd'hui; ces diverses concessions lui furent accordées, et elle obtint, de plus, celle d'une ligne de pénétration dans Paris.

Cette ligne dont le terminus est actuellement place de la République, forme en réalité un prolongement du réseau *extra muros;* elle est, comme le montre le plan (fig. 1), le tronc commun qui reçoit, de toutes les autres lignes et embranchements, les voyageurs se dirigeant sur Paris.

Le réseau des Chemins de fer Nogentais comporte actuellement 50 km de lignes, principales

ou secondaires, qui relient, entre elles ou à Paris, environ 20 communes suburbaines dont plusieurs possèdent un chiffre de population très élevé, notamment : Vincennes, Montreuil, Fontenay, Nogent, Le Perreux, Bry.

Quelques-unes de ces localités sont situées sur les bords de la Marne, c'est-à-dire dans une région où la population sédentaire s'accroît chaque jour, et qui reçoit, durant la belle saison, la visite de la plus grande partie de la population parisienne.

La traction électrique ayant été choisie pour les nouvelles lignes, la Compagnie Thomson-Houston fut chargée, en 1899, de leur installation ainsi que de la transformation des anciennes lignes

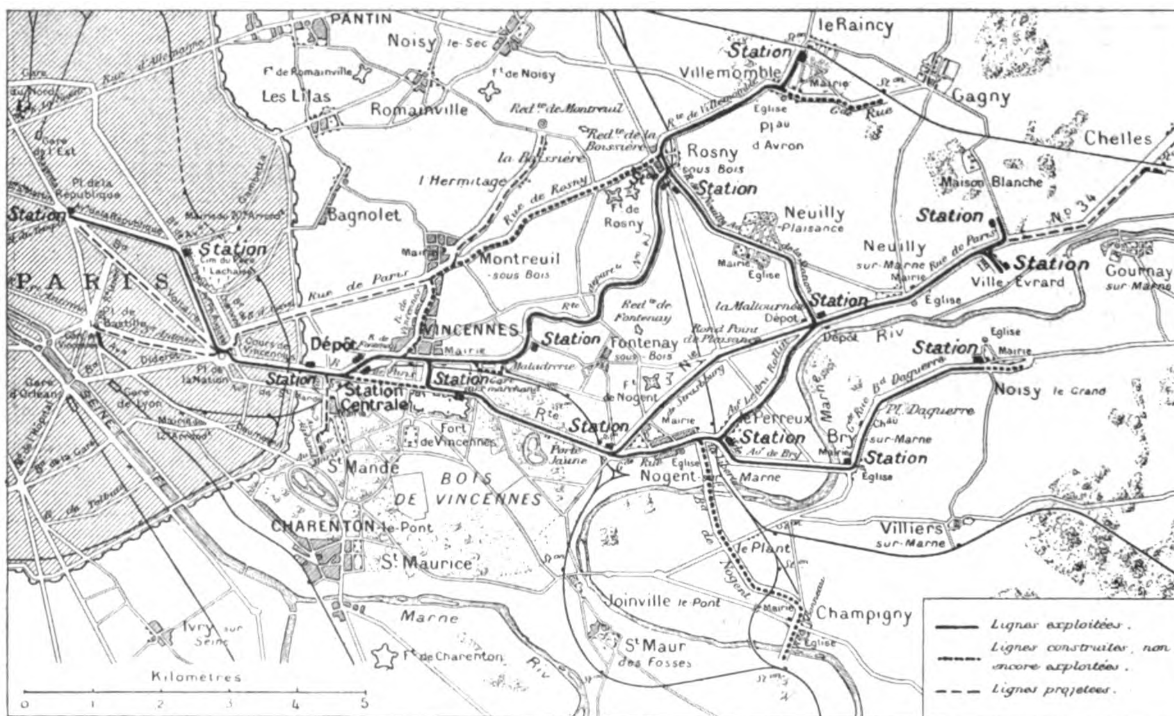


Fig. 1. — Plan du réseau des Tramways Nogentais.

précédemment exploitées, comme nous l'avons dit, au moyen de l'air comprimé. Les travaux, entrepris dès le commencement de l'année 1900, sont aujourd'hui presque complètement terminés.

Le réseau des Tramways Nogentais comporte une usine génératrice située à Vincennes, ainsi que deux dépôts où se font la réparation et l'entretien du matériel; l'un de ces dépôts est situé sur les bords de la Marne, à la Maltournée et l'autre à Vincennes, à proximité de l'usine.

Usine génératrice. — L'usine génératrice est construite à Vincennes, près de la ligne principale des tramways. Elle est reliée à cette ligne par une voie de service, ce qui permet d'effectuer d'une façon très économique l'approvisionnement en combustible; celui-ci est amené par bateau à la Maltournée où un vaste parc à charbon est installé; une voiture électrique en effectue le transport à l'usine.

Chaufferie. — La chaufferie, établie au niveau du sol, contient 8 générateurs multitubulaires groupés en deux batteries.

Chaque générateur, d'une surface de chauffe totale de 106 m², timbré à 17 kg, peut fournir jusqu'à 2 500 kg de vapeur à l'heure, ce qui correspond à une puissance totale de 2 500 chevaux environ.

Des sécheurs ou séparateurs d'eau, établis dans le sous-sol de la salle des machines, recueillent l'eau de condensation qui se forme dans les tuyauteries, et des détendeurs ramènent la vapeur à la pression de 9 ou 8 kg : cm² nécessaire à l'alimentation des machines à vapeur.

L'alimentation des chaudières est faite au moyen de l'eau de la Ville épurée.

Cette épuration s'obtient à l'aide d'un appareil Desrumeaux. L'eau est emmagasinée dans deux

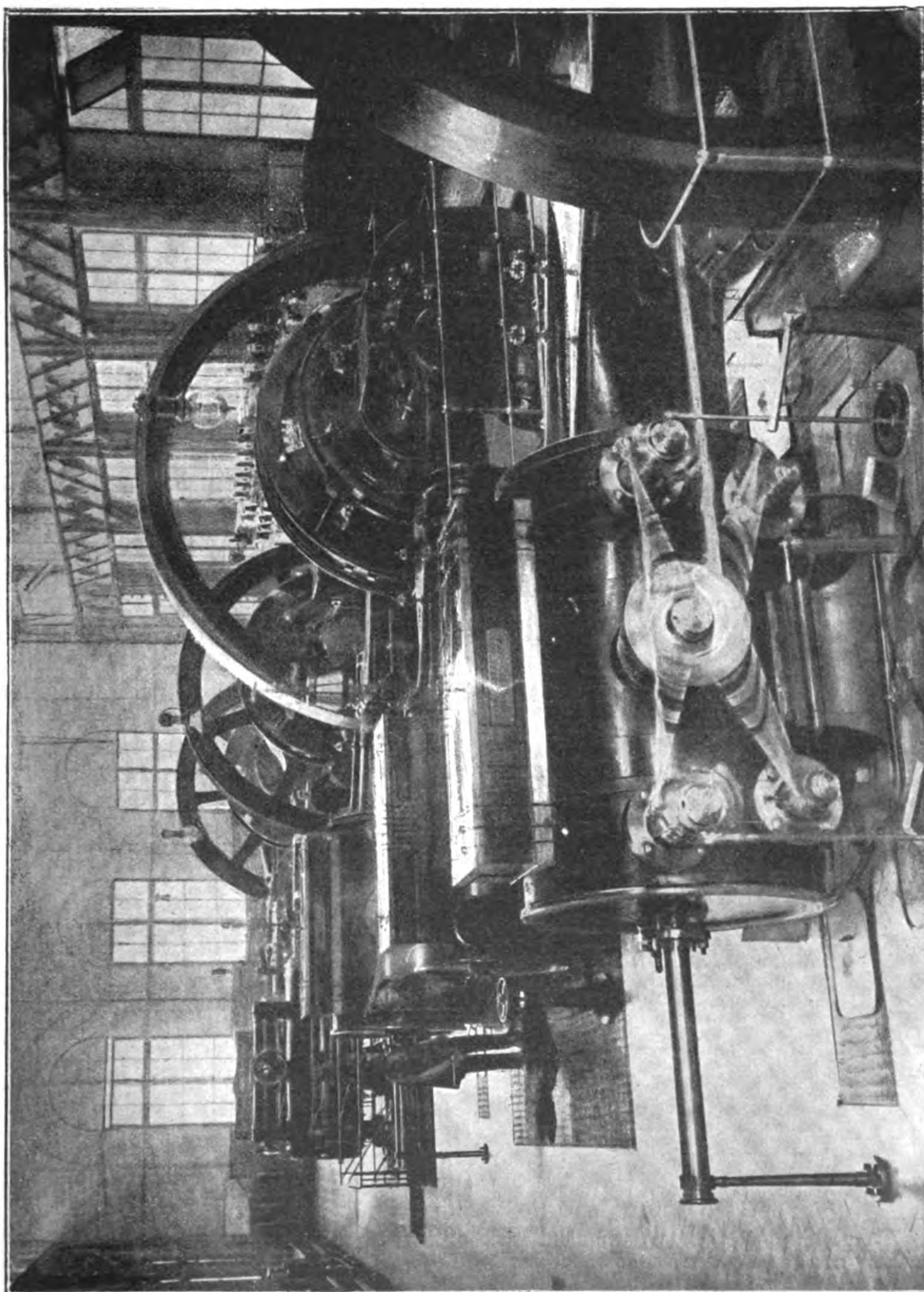


Fig. 2. — Salle des machines.

réservoirs d'une capacité de 80 m^3, cette disposition permet d'employer de l'eau titrant 6° hydrométriques, ce qui réduit au minimum l'encrassement des tubes des générateurs.

Pour éviter toute éventualité d'arrêt provenant du Service des eaux de la Ville, il a été foré,

dans la cour de l'usine, un puits de 90 m de profondeur permettant d'assurer le service de la chaufferie.

Deux pompes à vapeur, capables de débiter chacune 15 000 litres d'eau à l'heure, aspirent l'eau dans la bâche d'alimentation située au-dessous du sol de la chaufferie et la refoulent dans les chaudières.

A chaque groupe de 4 chaudières a été adjoint un groupe d'accumulateurs de vapeur pour augmenter la réserve de vapeur.

A l'arrière d'un des groupes de génératrurs, la chaufferie renferme une instillation destinée à fournir l'eau distillée aux accumulateurs des voitures pénétrant dans Paris et remisées au dépôt de Lagny, près de l'usine génératrice.

L'appareil à distiller, fonctionnant d'après le principe des appareils à triple effet, est porté sur une plate-forme élevée à 3 m au-dessus du sol de la chaufferie et l'eau distillée se trouve ainsi amenée par sa propre pression, au moyen d'une canalisation en plomb, dans un réservoir situé dans la salle des accumulateurs, et de là, distribuée dans toutes les fosses de visite à proximité des voitures.

Les eaux provenant des condenseurs des unités en service sont réunies dans la chambre d'aspiration des pompes. Deux pompes centrifuges, actionnées directement au moyen d'un accouplement élastique, par deux moteurs de 25 chevaux, envoient les eaux de condensation dans deux réfrigérants d'où l'eau refroidie retourne aux condenseurs.

L'évaporation qui se produit pendant le passage dans les réfrigérants est compensée à peu près exactement par la condensation de la vapeur provenant des machines en service. Des prises d'eau de ville ou d'eau de puits permettent d'assurer le service de condensation au cas où les appareils précédemment indiqués deviendraient insuffisants.

Pour terminer la description du service d'eau, ajoutons qu'une tuyauterie générale d'incendie, avec postes en nombre suffisant, met l'usine à l'abri de tous dangers de sinistre.

Salle des machines. — La salle des machines (fig. 2), placée à 3 m au-dessus du niveau du sol de la chaufferie, renferme 4 groupes électrogènes, dont 2 de 500 kilowatts et 2 de 325 kilowatts.

Chaque groupe de 600 kilowatts comprend une machine à vapeur compound à 2 cylindres jumelés, d'une puissance de 750 chevaux pouvant être poussée jusqu'à 1 000 chevaux, à 4 distributeurs genre Corliss dont 2 à déclic pour l'admission.

Leurs dimensions principales sont les suivantes :

Diamètre du petit cylindre	600 mm
— du grand cylindre	950 —
Course commune	1 080 —
Nombre de tours par minute	95
Pression à l'admission du petit cylindre	9 kg : cm²

Chaque groupe de 325 kilowatts (fig. 3) comprend une machine à vapeur monocylindrique de 450 à 600 chevaux. Ces machines sont également du genre Corliss et leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

Diamètre du cylindre	650 mm
Course du piston	1 300 —
Pression	8 kg : cm²

Toutes ces machines peuvent marcher, soit à condensation, soit à air libre et sont établies pour permettre la commande des dynamos par accouplement direct. Leurs volants, du poids de 25 tonnes pour les machines jumelées et de 20 tonnes pour les machines monocylindriques, sont calés sur les arbres, à côté des dynamos, entre les 2 paliers.

Partie électrique. — L'énergie produite par l'usine génératrice doit assurer les services suivants : l'alimentation des lignes aériennes et du tronçon en caniveau; l'alimentation à l'usine des moteurs actionnant les pompes; l'éclairage de l'usine, des dépôts, kiosques, stations et autres

points; la distribution de force motrice aux ateliers de réparations, enfin la charge de la batterie d'accumulateurs installée à la Maltournée et celle des batteries de voitures au dépôt de Lagny.

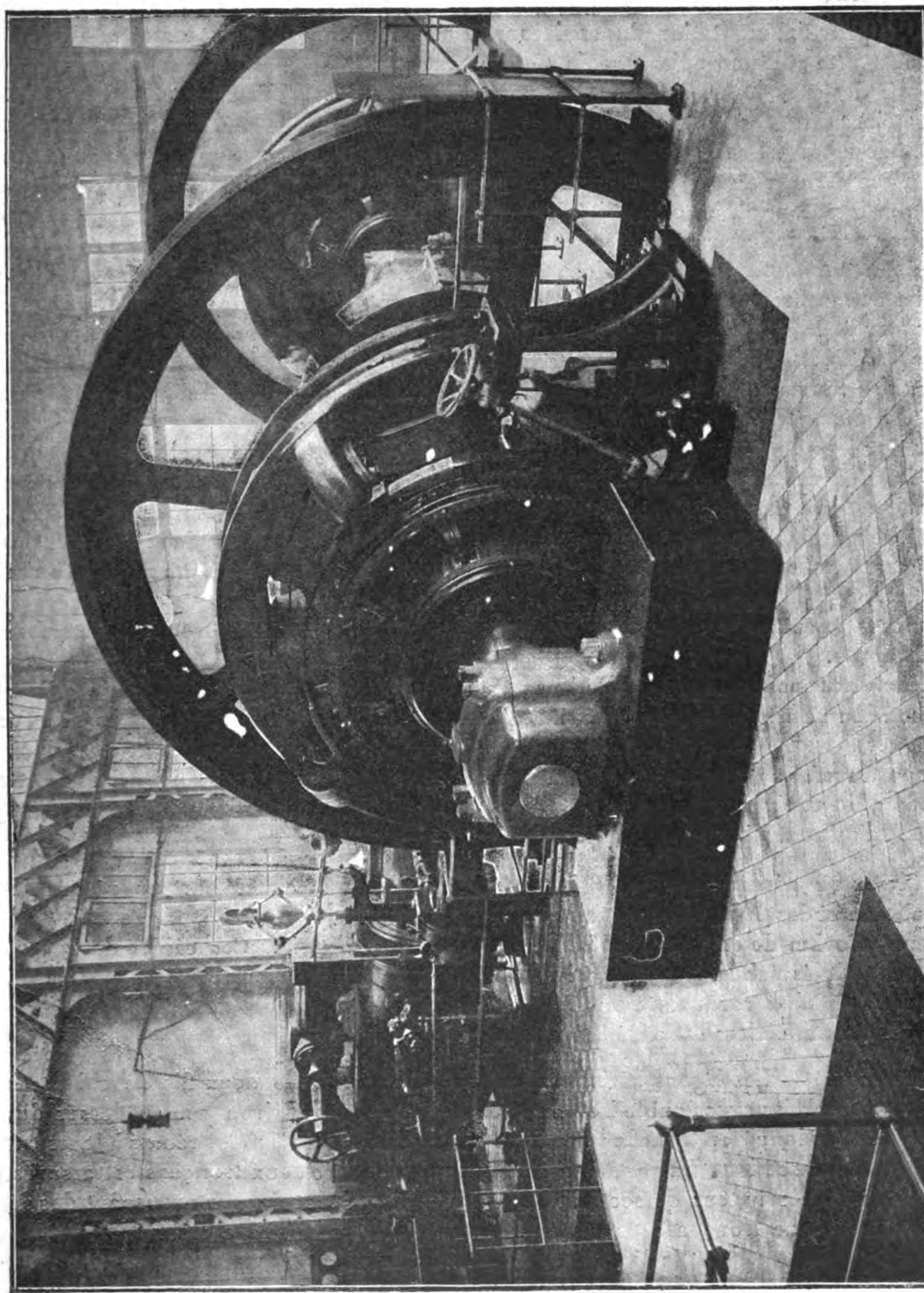


Fig. 3. — Dynamo de 325 kilowatts.

Cette énergie est fournie, comme nous l'avons dit, par 4 dynamos dont deux de 500 kilowatts, et deux de 325 kilowatts. Les unités de 500 kilowatts sont à 10 pôles et tournent à 90 tours par minute; celles de 325 kilowatts sont à 8 pôles et tournent à 90 tours par minute. Elles sont

hyper-compoundées de manière à donner une tension de 500 volts à vide et de 600 volts à pleine charge.

L'usine électrique comprend en outre un groupe moteur-générateur destiné à l'alimentation des voies en caniveau, un groupe de survolteurs connectés sur les feeders de retour et un transformateur d'éclairage.

Le groupe pour l'alimentation du caniveau est constitué par un moteur et une génératrice à 6 pôles, à 500 volts et d'une puissance de 150 kilowatts.

Le groupe des survolteurs est constitué par un moteur de 15 kilowatts actionnant directement trois génératrices dont les inducteurs sont respectivement traversés par le courant de chacun des trois feeders de retour. Dans ces conditions, la force électromotrice développée dans chacune de ces génératrices est égale et opposée à la chute de potentiel dans le feeder correspondant. De telle sorte que le potentiel, à l'extrémité du feeder, est constamment égal à celui de la barre négative, condition essentielle pour réduire les inconvénients de l'électrolyse.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution que représente la figure 4 comprend 20 panneaux en marbre dont : 4 panneaux de génératrices ; 1 panneau de commutation ; 2 panneaux pour le moteur et la génératrice alimentant le caniveau ; 7 panneaux de feeders ; 4 panneaux pour le moteur et les trois génératrices du groupe survolteur ; 1 panneau pour l'éclairage et le service des pompes ; 1 panneau central sur lequel aboutissent les fils pilotes destinés à indiquer les pertes de tension dans les rails.

Les génératrices de 500 et de 325 kilowatts alimentent une barre positive sur laquelle sont connectés les feeders d'alimentation et une barre négative sur laquelle viennent aboutir, soit directement, soit par l'intermédiaire des survolteurs, les trois feeders de retour. Une barre positive supplémentaire permet d'assurer le service des lignes de trôlet avec les deux voltages distincts à l'usine et, par suite, d'obtenir sur le réseau une tension plus uniforme en alimentant à bas voltage les feeders courts et à un voltage plus élevé les feeders longs.

Le panneau de commutation permet la mise en parallèle des génératrices marchant à des voltages différents.

Le moteur du transformateur du caniveau est alimenté par une barre spéciale qui sert également, avec la barre négative commune, à l'alimentation des moteurs des pompes et à l'éclairage de l'usine.

Le groupe transformateur du caniveau alimente deux barres spéciales auxquelles sont connectés les feeders du caniveau. Ces deux barres peuvent être alimentées aussi par une des génératrices de 325 kilowatts.

Alimentation du réseau. — De l'usine génératrice de Vincennes part un réseau de feeders destinés à alimenter les lignes et un grand nombre de points.

Il comporte 20 km de câbles positifs et 5 km de câbles négatifs. Ces câbles de haute conductibilité sont constitués par un toron de cuivre de 300 ou 400 mm² fortement isolé et protégé par une enveloppe de plomb recouverte elle-même d'une double armature de feuillard.

Tout le réseau de feeders est posé dans le sol.

Lignes aériennes. — Les lignes aériennes de trôlet, formées de deux fils de cuivre de 9 mm de diamètre sont établies avec double isolement et suspendues à environ 7 m au-dessus du sol.

Le réseau est sectionné en tronçons d'une longueur d'environ 1 500 m, réunis à leurs extrémités par des isolateurs de section. La conductibilité électrique entre deux tronçons est assurée par des câbles isolés et un interrupteur de section. Enfin, pour éviter tout danger provenant des décharges atmosphériques, chaque tronçon est pourvu d'un parafoudre à soufflage magnétique.

Les poteaux qui supportent la ligne de trôlet sont faits de tubes d'acier emboutis, surmontés d'ornements et d'une console également ornementée. Ils sont scellés dans le sol au moyen d'une fondation de béton de 2 m de profondeur.

La conductibilité électrique des voies de roulement servant de conducteur au courant de retour est assurée, sur les voies en rails Broca, par des joints coulés, système Falk, et sur les voies en rails Vignole, ainsi que sur les appareils d'aiguillage, au moyen de doubles connecteurs « chicago ».

VOIES EN CANIVEAU. — La ligne de pénétration dans Paris est établie en caniveau sur la section comprise entre la Porte de Vincennes et l'intersection de l'avenue de la République et du

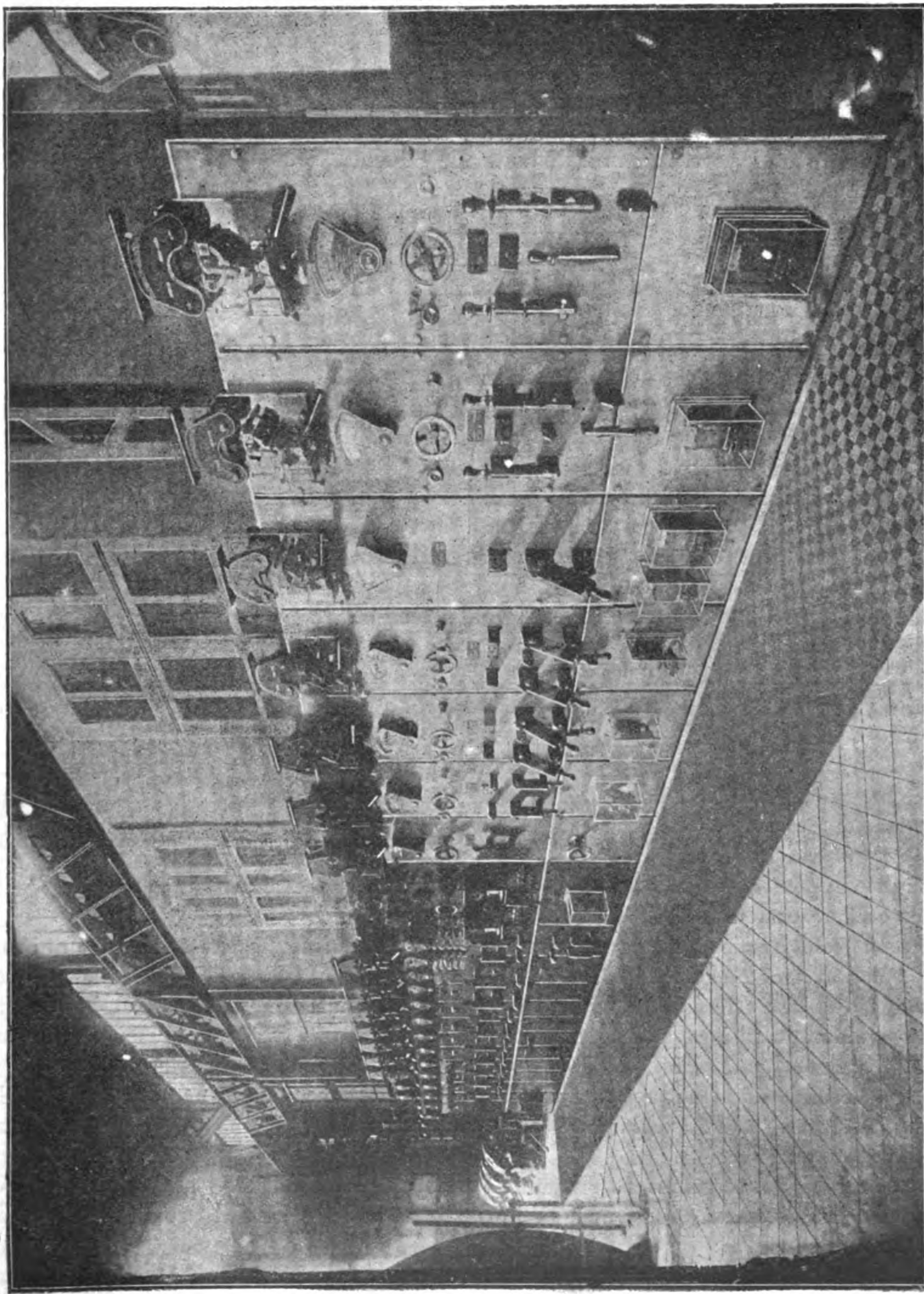


Fig. 4. — Tableau de distribution.

boulevard de Ménilmontant, soit sur un parcours de 3 km; de ce point jusqu'au terminus, place de la République, la traction est faite par des accumulateurs.

Les voies sont doubles et les caniveaux du type latéral, c'est-à-dire du système semblable à

celui déjà appliqué à Paris, sur les lignes de Saint-Ouen-Champ de Mars et Montparnasse-Bastille, sont placés du côté de l'entrevoie (¹).

Voies de roulement. — Les voies de roulement sont à l'écartement normal 1,44 m entre rails; elles sont établies, soit sur accotements publics ou privés, soit noyées dans la chaussée.

Ces dernières sont constituées par des rails du type Broca, à gorge très profonde, du poids de 48 kg environ par mètre courant, posés sur solin en béton, puis maintenus à l'écartement normal par des entretoises métalliques

Les voies en accotement et les voies de dépôt sont en rails Vignole, du poids de 25 kg par mètre courant, fixés sur traverses en bois distantes de 70 cm.

Matériel roulant. — Le matériel roulant comporte, comme le montrent les figures, des voitures automotrices de deux types différents :

Celles du premier modèle (fig. 5) sont établies en vue de la traction mixte par fil aérien, caniveau et accumulateurs, elles peuvent donc circuler sur toutes les lignes du réseau ; celles du second modèle (fig. 5) sont pour traction par fil aérien seulement; ces dernières ne sont utilisées, par conséquent, que sur les lignes *extra muros*.

Voitures pour traction mixte. — Les voitures pour traction mixte sont à impériale couverte, leur longueur totale est de 11,25 m, mesurée entre tampons ; elles contiennent 78 places qui se répartissent ainsi : 26 places assises dans le compartiment d'intérieur (1re classe) ; 36 places assises à l'impériale (2e classe) ; 16 places debout sur les plates-formes avant et arrière (2e classe).

Le compartiment d'intérieur est séparé de chacune des deux plates-formes, avant et arrière, par une porte à coulisse vitrée et les plates-formes sont elles-mêmes divisées en deux parties par une cloison formant le prolongement du parement intérieur de l'escalier donnant accès à l'impériale. Cette cloison sépare, à l'avant, le wattman des voyageurs stationnant sur la plate-forme correspondante et à l'arrière les voyageurs montant à l'impériale de ceux qui pénètrent à l'intérieur de la voiture.

Le compartiment d'impériale, auquel on accède par un escalier de 8 marches, est fermé à ses deux extrémités par une cloison pleine, munie de deux portes à battant donnant sur l'escalier d'accès.

Pendant l'hiver, les côtés sont fermés au moyen de panneaux amovibles münis de châssis vitrés; aussi, les voyageurs sont-ils complètement à l'abri des intempéries pendant la mauvaise saison. Ce système de clôture, qui d'ailleurs est une innovation dans les voitures de la région parisienne, est des plus apprécié du public.

La caisse est supportée par deux boggies à deux essieux espacés de 3,87 m entre boggies et de 1,22 m entre chaque essieu du même truck.

L'équipement électrique comprend deux moteurs Thomson-Houston, d'une puissance de 45 chevaux, commandant chacun directement, au moyen d'un train d'engrenages, un des deux essieux du boggie-moteur; ils sont reliés à deux contrôleurs, placés à l'avant et à l'arrière de la voiture. Sont également utilisés, dans l'équipement électrique des voitures, tous autres appareils de manœuvre ou de sécurité généralement employés dans nos installations similaires.

Le freinage est effectué à l'aide d'un frein à main, d'un effort suffisant pour pouvoir bloquer complètement les roues, et d'un frein à air comprimé alimenté par un compresseur actionné par le mouvement même de l'essieu.

Quatre sablières, manœuvrables de chacune des deux plates-formes, sont placées par deux à chaque extrémité de la voiture, de façon à sabler à l'avant et à l'arrière des roues, c'est-à-dire pour une marche en tous sens.

Ainsi que nous le disions plus haut, ces voitures sont appelées à effectuer, dans Paris, un certain parcours à l'aide d'accumulateurs. Elles sont à cet effet pourvues d'une batterie du type « Union », composée de 210 éléments de 18 kg, répartis en six compartiments, et logés dans un

(¹) Voir *Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 375, 9 décembre 1899.

coffre placé sous la caisse de la voiture, entre les deux boggies. Le courant nécessaire à la charge de la batterie est pris, en cours de route, sur la ligne de trôlet, la durée du temps de charge n'excédant pas 19 minutes.

L'éclairage est assuré par 10 lampes à incandescence, réparties sur deux circuits par séries de 5 et disposées de manière à pouvoir être mises en court-circuit lors de la marche au moyen de la batterie d'accumulateurs.

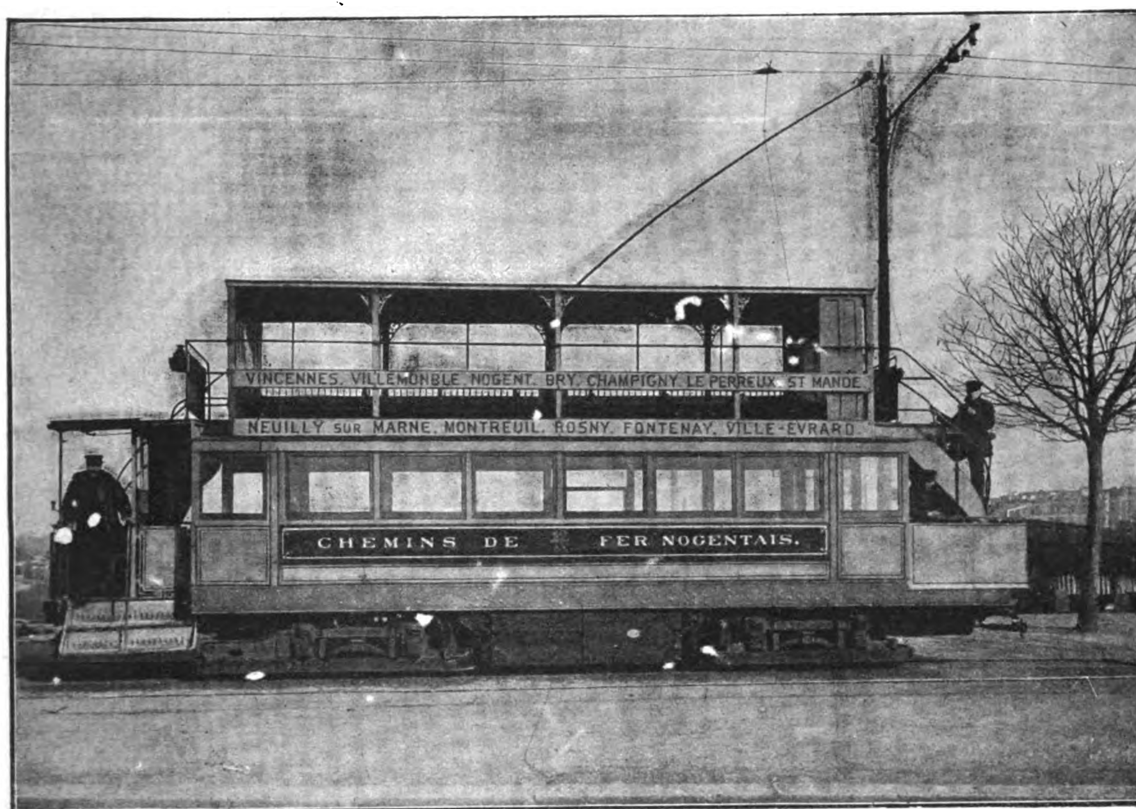


Fig. 5. — Voiture automotrice pour traction mixte.

L'équipement électrique des voitures est de puissance suffisante pour imprimer en cas de remorque, à un train du poids de 20 tonnes, une vitesse pouvant atteindre 22 km à l'heure sur les sections de lignes en palier et 15 km sur les rampes de 3 p. 100.

Voitures pour traction par fil aérien. — Les voitures de ce modèle sont à 52 places dont : 18 places assises dans le compartiment intérieur; 24 places assises dans le compartiment d'impériale; 10 places debout sur la plate-forme arrière, la plate-forme avant étant réservée au watman.

La caisse présente les mêmes dispositions intérieures et extérieures que celles des voitures pour traction mixte. Elle repose, par double suspension à ressort, sur un truck à deux essieux actionnés directement par deux moteurs type G.-E 58 d'une puissance de 35 chevaux. Les contrôleurs sont du type K. 9.

Leur équipement comprend, en outre, tous les appareils accessoires de manœuvre et de sécurité dont sont pourvues les voitures pour traction mixte, ainsi que les sablières, freins à main et freins à air que nous avons décrits plus haut.

Voitures de remorque. — Le matériel roulant comporte encore des voitures de remorque qui sont attelées aux voitures automotrices lorsque les besoins du trafic l'exigent, notamment les dimanches et à certaines heures de la journée. Ces voitures sont du type « Buffalo »; elles con-

tiennent 8 banquettes transversales à 4 places assises; les deux banquettes d'extrémité sont appuyées contre les cloisons vitrées, les autres sont pourvues de dossiers à bascule que l'on retourne aux points terminus.

Le nombre de voitures actuellement en service est de 121, se répartissant ainsi : 51 voitures automotrices à 52 places; 40 voitures automotrices à 78 places; 30 voitures de remorque.

Ajoutons que toutes ces voitures, fournies par notre Compagnie, offrent le plus grand confor-

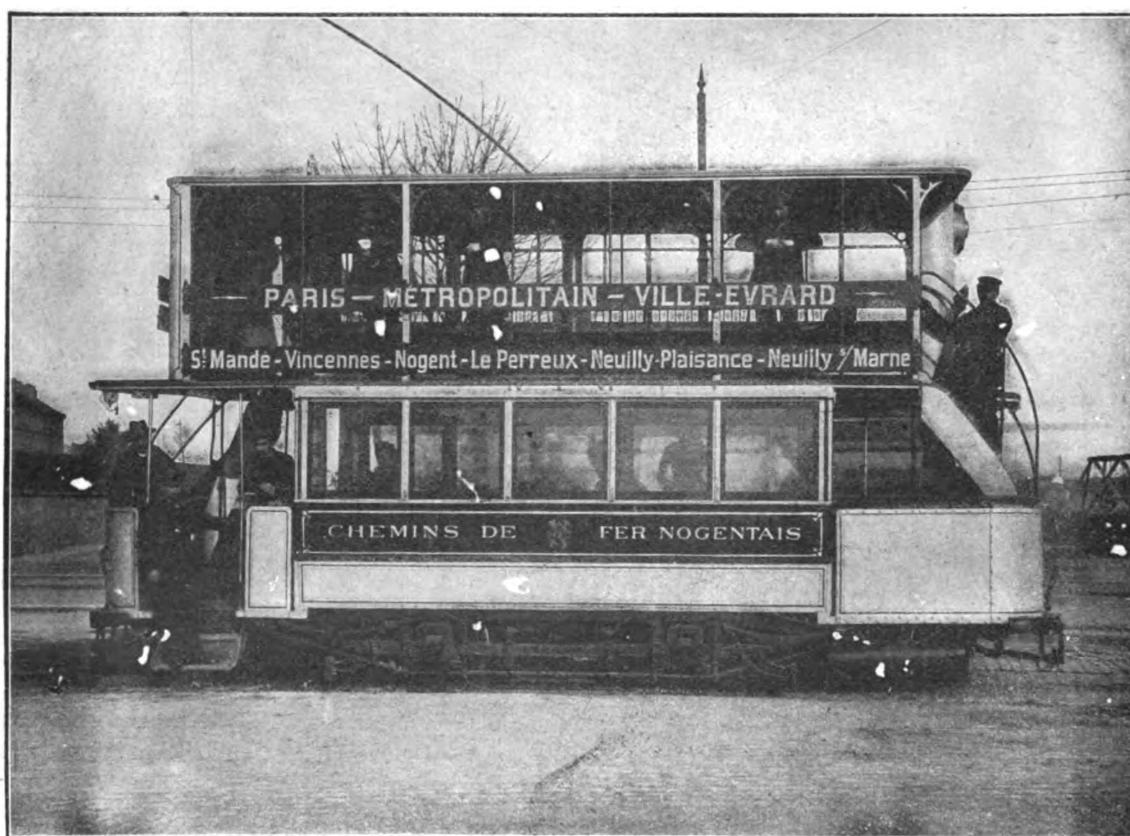


Fig. 6. — Voiture automotrice pour traction par fil aérien.

table; elles sont chauffées au moyen d'appareils électriques, placés à niveau du plancher, sous les banquettes.

Dépôts. — Le matériel roulant est remisé dans deux dépôts situés, l'un à la Maltournée, près Nogent-sur-Marne, l'autre à Vincennes, à proximité de l'usine génératrice.

Le dépôt principal de la Maltournée occupe une superficie de 20 000 m², dont 3 000 de surface couverte; il peut contenir 90 voitures. Les voies comportent un développement de 2 000 m et sont établies, en majeure partie, sur fosses de visite.

Les bureaux de la Direction et de l'Exploitation sont également installés au dépôt de la Maltournée, qui comprend encore un atelier de réparations et une batterie de 60 éléments destinée à l'éclairage du dépôt; elle est chargée par un transformateur qui ramène le courant de la ligne à 120 volts et peut marcher en tampon pour assurer l'éclairage du dépôt et des bureaux. Dans les dépendances du dépôt se trouve un local contenant une batterie-tampon composée de 220 éléments du type « Union » possédant chacun une capacité de 400 ampères-heure qui pourrait être portée à 600 ampères-heure par l'addition de nouvelles plaques si l'intensité du service l'exigeait. Elle

permet une tension stable de 450 volts environ en ce point du réseau situé à plus de 8 km de l'usine génératrice.

La recharge à fond de la batterie s'effectue au moyen d'un groupe moteur-survolteur installé dans le même local, et composé de 2 machines type C-8, accouplées directement sur un socle commun. La dynamo survoltrice, à excitation indépendante, branchée sur la ligne de trôlet, peut donner un courant allant jusqu'à 150 ampères et le voltage aux bornes peut varier de 0 à 100 volts. Le moteur est à excitation compound.

Un tableau de distribution comprenant un panneau de moteur, un panneau de génératrice et un panneau de batterie complète cette installation.

Le dépôt de Vincennes, construit comme nous l'avons dit, près de l'usine génératrice, est destiné à recevoir notamment les voitures pour traction mixte; il peut contenir 40 voitures de ce modèle.

Tout le service d'éclairage, tant à l'usine génératrice qu'aux dépôts, ateliers de réparation, etc..., est effectué au moyen de lampes à arc Thomson-Houston à longue durée.

T. PAUSERT.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 30 décembre 1901 (Suite).

Action des courants de haute fréquence (application directe) sur les animaux, par **H. Bordier** et **Lecomte**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1295-1297.

Depuis les belles expériences de M. d'Arsonval, on sait que les courants de haute fréquence appliqués directement (1) sur l'homme ne sont accompagnés d'aucune sensation, malgré l'énorme énergie (720 watts avec le dispositif de M. d'Arsonval) mise en jeu et capable de porter au blanc éblouissant le filament de plusieurs lampes à incandescence placées en tension dans le circuit.

On a donné, de l'absence de sensation, plusieurs explications; certains auteurs ont même prétendu que ces courants s'écoulaient par la surface du corps sans pénétrer dans la profondeur de l'organisme. Les expériences faites par MM. Bordier et Lecomte sur les animaux viennent donner un démenti formel à cette dernière opinion et une entière confirmation aux idées soutenues par M. d'Arsonval.

Le dispositif dont les auteurs se servent pour obtenir les courants de haute fréquence consiste en une bobine de Ruhmkorff de 0,55 m d'étincelle actionnée par du courant continu à 120 volts et interrompu périodiquement au moyen de l'interrupteur Wehnelt à refroidissement. Les bornes du fil secondaire de la bobine sont reliées aux armatures de deux condensateurs plans munis d'un détonateur.

Les premières expériences (1) furent faites sur le lapin; le courant était amené à l'animal à l'aide de deux colliers métalliques enserrant, d'une part, le cou et, d'autre part, l'abdomen. L'intensité du courant était mesurée avec le galvanomètre thermique de d'Arsonval-Gaiffe gradué en milliampères. Dans certaines conditions, les animaux moururent des suites de l'expérience.

Les auteurs cherchèrent ensuite à obtenir un

(1) L'application directe s'obtient en prenant le courant aux deux extrémités du solénoïde à gros fil de l'appareil producteur de la haute fréquence.

(1) *Première expérience.* — Les connexions étant établies comme il vient d'être dit, on lance le courant qu'on interrompt après une minute : l'intensité a été de 400 milli-ampères. On enlève les colliers et l'on constate que l'animal présente une paraplégie du train postérieur. Ce lapin mourait douze jours après.

Deuxième expérience. — Le corps d'un homme est placé en tension dans le circuit où se trouve le galvanomètre thermique et un lapin : on fait passer un courant pendant trois minutes. Intensité : 300 milliampères. Le sujet n'accuse absolument aucune sensation ; le lapin est encore paralysé et meurt quatorze jours après l'expérience.

meilleur contact et pour cela ils remplacèrent les colliers par deux électrodes, l'une rectale, l'autre buccale, s'appliquant bien sur les muqueuses. Des lapins, des cobayes, des rats soumis à ces expériences furent tués.

Ces expériences prouvent donc bien que l'application directe des courants de haute fréquence est loin d'être inoffensive pour le lapin; elles démontrent en outre, d'une façon péremptoire que ces courants traversent bien l'organisme et ne se propagent pas suivant la surface. Quant à l'explication des accidents mortels, il est très probable qu'il faille la chercher dans des phénomènes d'inhibition développés par ces courants dans les centres nerveux respiratoires.

Remarques au sujet de la communication de MM. Bordier et Lecomte, par **d'Arsonval**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1297-1299.

« Les faits signalés ci-dessus comportent quelques réflexions pouvant intéresser les expérimentateurs et les médecins qui font usage des courants de haute fréquence.

» Et tout d'abord ils sont parfaitement exacts ; j'ai eu l'occasion, de mon côté, de constater des phénomènes semblables. J'ai montré, notamment en 1896, à mon cours du Collège de France et à la Société de Biologie, des lapins et des cochons d'Inde chez lesquels le passage *direct* des courants à haute fréquence avait amené une amputation complète des membres. Ces animaux m'avaient servi pour faire *in vivo* des atténuations microbiennes par la haute fréquence. Pour faire passer ces courants très intenses (plus d'un ampère chez le lapin), l'animal était fixé sur une planchette percée de deux trous, l'un en avant où passaient les pattes d'avant, l'autre en arrière où étaient engagées les cuisses. Les pôles du solénoïde étaient reliés à deux vases pleins d'eau sur lesquels l'animal établissait un pont, le courant pénétrant par les pattes postérieures et ressortant par les pattes antérieures après avoir traversé le corps. Tout autre système d'électrodes avait dû être rejeté à cause de l'échauffement considérable des tissus aux points de pénétration du courant.

» Malgré ces précautions, les membres devenaient rapidement brûlants, et, en continuant à faire passer le courant, on les cuisait littéralement, au point que chez plusieurs animaux les membres se détachèrent complètement du corps six à dix jours plus tard.

» Quelques-uns des animaux ainsi traités moururent immédiatement, et à l'autopsie je trouvai des caillots dans le cœur et les gros vaisseaux ; *il n'y avait pas eu de contractions musculaires*.

» Dans ces conditions, de même que dans les expériences signalées ci-dessus, je crois que la paraplégie ainsi que la mort immédiate ou différée sont, en grande partie au moins, le fait de la chaleur développée dans les tissus et des coagulations ou embolies qu'elle détermine. Dans les cas de MM. Bordier et Lecomte, cette élévation de température est encore plus grande puisqu'elle se complique de contractions musculaires et de phénomènes tétaniques généralisés. L'hyperthermie peut donc expliquer à elle seule, à la rigueur, l'arrêt du cœur. On constate très bien sur soi-même cette sensation de chaleur aux poignets quand on saisit des deux mains les pôles du solénoïde. En allumant des lampes à incandescence entre deux personnes, il est difficile de dépasser (et cela seulement pour quelques instants) deux ampères, à cause de cette sensation de chaleur.

» Quant aux secousses et aux contractions musculaires signalées ci-dessus, il faut absolument les éviter quand on veut étudier les actions propres des courants à haute fréquence [1].

» Si l'on en obtient cela prouve : ou que le courant est trop dense pour la fréquence employée, ou que l'appareil est mal réglé pour une des causes ci-dessous [2].

---

[1] « L'opinion que les courants de haute fréquence ne peuvent provoquer ni contractions, ni douleurs, est assez répandue. C'est là une erreur, la tolérance de l'organisme pour les courants alternatifs augmente avec la fréquence, dans des proportions énormes, il est vrai, mais ne saurait être indéfinie. L'effet Joule suffirait à lui seul à l'empêcher, sans parler des autres phénomènes. »

[2] « 1° Détonateur mal réglé comme distance explosive ;
» 2° Boules déformées ou mal polies ;
» 3° Étincelle insuffisamment soufflée et ayant encore de l'arc ;
» 4° Mauvais contact ou petite interruption dans les circuits, tant de basse que de haute fréquence ;
» 5° Armatures du condensateur mal appliquées sur le diélectrique ;
» 6° Capacité trop grande ;

» Je n'insisterai pas sur la théorie surannée, encore admise par quelques auteurs, qui attribue l'innocuité des courants de haute fréquence à leur écoulement superficiel.

» J'ai montré par toute une série de faits physiologiques que ces courants pénétraient au plus profond des tissus. Même au point de vue physique cette théorie est une hérésie quand il s'agit de conducteurs ayant la résistance spécifique des tissus. Le calcul montre en effet que du courant à la fréquence 500 000 circulant dans le bras (résistance spécifique, *au moins* 7 ohms-centimètre) ne subit aucune réduction appréciable au centre. Je l'ai prouvé également par les mesures directes [1].

» Comme conclusion je terminerai en disant : lorsqu'on étudie l'action des courants à haute fréquence, il faut éviter trois choses :

» 1° Toute action sur la sensibilité ;

» 2° Toute contraction musculaire ;

» 3° Toute élévation *anormale* de température. »

Sur l'existence de rayons qui subissent la réflexion, dans le rayonnement émis par un mélange de chlorures de radium et de barym, par **Th. Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, 1299-1301.

Différents modes d'observation avaient laissé entrevoir à M. Tommasina l'existence de rayons qui subissent la réflexion dans les radiations émises par certains corps radio-actifs. En plaçant suivant l'axe d'un miroir parabolique un tube de verre renfermant du chlorure de baryum actif et disposant un électroscope Curie dans le champ de réflexion, il a constaté que la déperdition de la charge de l'électroscope était environ deux fois plus rapide avec le miroir que sans le miroir. D'autres expériences montrant que cet effet ne doit pas être attribué aux rayons secondaires émis par le miroir, M. Tommasina croit pouvoir conclure que, dans le rayonnement du tube expérimenté contenant un mélange de chlorures de radium et de baryum, existent des rayons qui subissent la réflexion.

» 7° Self trop grande ;

» 8° Nature de la source électrique : on obtient mieux généralement avec l'interrupteur à mercure qu'avec le Wenhelt lorsqu'on se sert de la bobine. On arrive toujours, après quelques tâtonnements, à supprimer toute sensation et toute contraction musculaire. Cela est absolument essentiel si l'on ne veut pas compliquer les effets dus à la haute fréquence seule des phénomènes complexes provoqués par la sensibilité et la contraction musculaire. Toutes les fois que je parle des actions de la haute fréquence il est bien entendu qu'il s'agit de haute fréquence *pure*, n'excitant ni les nerfs sensitifs, ni les muscles.

(1) *Écl. Élect.*, t. VIII, p. 186, 25 juillet 1896.

Sur les maxima électrocapillaires de quelques composés organiques, par **Gouy**. *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p, 1301-1303.

L'auteur a montré antérieurement [1] qu'il est possible de mesurer le maximum électrocapillaire de liquides presque isolants ; il fait connaître dans la note qui nous occupe les résultats d'une étude de quelques solutions de corps organiques dans l'eau pure, et de divers liquides organiques ne contenant que de petites quantités d'eau [2].

Le premier des tableaux ci-dessous montre que la dépression du maximum croît moins vite que la concentration ; elle lui est d'abord presque proportionnelle pour les corps peu actifs,

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 235, 11 août 1900.

(2) Pour être sûr qu'on a bien observé le maximum, il faut pouvoir constater la rétrogradation du mercure dans la pointe de l'électromètre, ce qui exige parfois plusieurs dizaines de volts, en raison de l'énorme résistance ohmique ; aussi les courbes électrocapillaires sont-elles entièrement déformées et inutilisables, sauf pour la valeur H de l'ordonnée maximum.

« Dans ce qui va suivre, le maximum avec l'eau pure est pris égal à 1 000. Le tableau suivant donne quelques exemples de corps en solutions aqueuses ; on y a inscrit 1 000 — H, c'est-à-dire la dépression du maximum ; M désigne une molécule-gramme par litre de la solution ; la température est de 18° ;

	$\frac{1}{100}$ M.	$\frac{1}{10}$ M.	$\frac{1}{3}$ M.	1 M.	2 M.	3 M.	5 M.	10 M.	20 M.	Pur ou en solution saturée.
Alcool méthylique	»	»	»	6	12	»	28	49	70	78
Alcool butylique tertiaire	»	9	30	60	82	»	90	92	»	93
Acétone	»	4	12	27	43	»	67	82	»	90
Urée	»	»	8	19	27	34	44	»	»	60
Saccharose	11	29	41	55	67	82 Sursaturé	»	»	»	74
Pyridine	12	42	68	93	103	»	112	131	»	137

tels que l'alcool méthylique. La concentration

» Le tableau suivant donne les maxima avec divers liquides ne contenant que de très faibles quantités d'eau, suffisantes pour la conductibilité; cependant, les corps indiqués en italiques ont dû être employés avec une quantité d'eau plus grande, environ 10 p. 100. Les liquides non miscibles à l'eau, qui sont généralement trop résistants à l'état pur, ont été agités quelques instants avec de l'eau, dont ils dissolvent ainsi des traces :

Alcool méthylique	922
» éthylique	906
» *propylique*	899
» *isopropylique*	907
» butylique normal	896
» butylique secondaire	901
» *butylique tertiaire*	907
» isobutylique	902
» amylique ordinaire	894
» amylique tertiaire	896
» caprylique	877
» octylique secondaire	879
» benzylique	854
» anisique	860
Glycol	894
Glycérine	902
Aldéhyde propylique	897
» isobutylique	896
» benzoïque	850
Furfurol	867
Acétone	910
Méthylhexylcétone	878
Acétylacétone	865
Pinacoline	893
Acétophénone	853
Acétal	893
Capronitrile	891
Chloroforme	867
Bromure d'éthyle	861
Phénol	859
Carvacrol	854
Acide acétique	919
» *butyrique*	895
Acétate d'éthyle	897
Acétate d'amyle	891
Dichlorhydrine glycérique α	867
Amylamine	869
Allylamine	869
Benzylamine	842
Aniline	837
Dyméthylaniline	827
Diéthylaniline	835
Ortho-toluidine	833
Méta-xylidine	836
Phénylhydrazine	843
Pyridine	863
Picoline α	860
Lutidine	852
Pipéridine	841
Quinoléine	838
Quinaldine	830

augmentant, la dépression croît de moins en moins vite, et les dernières quantités d'eau ont peu d'effet.

Le second tableau montre que le maximum avec le corps presque anhydre, comparé à celui de l'eau, est en général d'autant plus déprimé que ce corps est plus actif en solutions étendues comme on pouvait s'y attendre; mais, d'un corps à un autre, la différence est ici bien moindre qu'en solutions étendues. Cela tient à ce que, avec les corps peu actifs, la dépression du maximum progresse avec la concentration bien plus qu'avec les corps très actifs. Avec les subtances actives, il est remarquable que le corps pur ne donne guère que le double ou le triple de la dépression du maximum que donnent déjà des solutions très étendues, à 1 p. 100, par exemple. Ces faits seraient inintelligibles, si l'on ne savait que les molécules dissoutes s'accumulent à la surface du mercure et forment une couche de concentration bien supérieure à celle du reste de la solution [1]; il est naturel dès lors qu'elles exercent sur le mercure des forces capillaires comparables à celles que produit le corps à l'état pur. Pour les corps peu actifs, cette accumulation est moindre, et l'effet produit se rapproche de la proportionnalité à la concentration qui serait vraisemblablement réalisée si la solution restait homogène.

Séance du 6 janvier 1902.

Sur le champ électrostatique autour d'un courant électrique et sur la théorie du professeur Poynting, par **W. de Nicolaïève**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 33.

L'auteur décrit quelques expériences faites au moyen de l'appareil suivant :

A la face inférieure d'une feuille de carton horizontale, sont collées par leurs extrémités deux bandes d'étain que nous désignerons respectivement par AEC et BFD; ces bandes, larges de 3 mm, forment sous l'action de la pesanteur, deux chainettes dont la flèche est de 30 cm; elles sont parallèles et distantes de 4 à 5 mm; le carton repose sur les bords d'un bocal en verre qui protège les bandes d'étain contre l'effet des courants d'air. Les deux extrémités A et B des deux bandes sont reliées aux deux pôles d'une pile de 100 volts; les deux autres C et D

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 67, 12 janvier 1901.

restent isolées ou sont unies par un rhéostat de lampes à incandescence; dans le premier cas, les deux bandes se trouvent chargées aux potentiels respectifs des pôles de la pile et tendent à se rapprocher; dans le second, elles sont parcourues par un courant, et comme le sens du courant dans l'une est inverse du sens dans l'autre, les bandes tendent à s'écarter.

Les expériences faites au moyen de cette sorte d'électroscope sont décrites ci-dessous [1].

[1] « *Première expérience.* — La batterie est ouverte, les chaînettes disjointes des électrodes sont en repos; on les joint et elles s'approchent; l'attraction est produite par le système des tubes de force électrostatique appliqués aux chaînettes contreposées.

« *Deuxième expérience.* — On ferme la batterie par un rhéostat de 900 ohms; le rapprochement persiste et diffère peu de celui dans le circuit ouvert.

« A présent existe la réaction répulsive électromotrice qui ne se manifeste pas, vu la faiblesse du courant (0,11 ampère). — Il se présente une seule explication plausible, c'est que les tubes électrostatiques unissent les chaînettes de la même manière que c'était dans le cas statique, et comme, d'un côté, à cause de la faible chute, les tubes conservent presque les mêmes tensions, et que, de l'autre, la réaction électromotrice est faible, l'effet mécanique reste à peu près le même.

« Dans l'état statique, les différences des potentiels aux extrémités de chaque tube sont les mêmes, et le système des tubes est en équilibre; dans l'état dynamique, les différences des potentiels diminuent depuis 100 volts jusqu'à zéro et l'équilibre est troublé; les pressions transversales diminuent graduellement, les tubes se déplacent perpendiculairement à leurs axes, glissant le long des conducteurs et balayant le milieu diélectrique. La chute des potentiels le long du circuit montre que chaque tube, après un déplacement infiniment petit, aura une moindre différence des potentiels aux extrémités; cet effet peut être causé par la destruction-décharge des cellules extrêmes au sein des conducteurs. On voit que l'expérience amène aux résultats littéralement coïncidant avec la théorie du professeur Poynting et confirme cette dernière. Quand la résistance intercalée est diminuée jusqu'à 200 ohms, l'attraction se change en répulsion électromotrice. Comme la réaction électrostatique est inversement proportionnelle aux carrés des distances et la réaction électromotrice aux distances mêmes, on peut, variant les distances, faire prévaloir l'une ou l'autre.

» *Troisième expérience.* — Dans le naphte, l'attraction s'augmente.

» *Quatrième expérience.* — Excluant le rhéostat et immergeant les chaînettes dans l'eau distillée, l'attraction devient très énergique et se manifeste à la distance de 4 cm à 5 cm. Pour se débarrasser des faibles courants hydrodynamiques et se persuader dans le caractère électrique de l'attraction, l'auteur lançait un courant alternatif d'un transformateur et observait l'attraction pendant qu'il dissolvait de plus en plus grandes quantités de quelque sel; le courant et l'électrolyse s'augmentaient graduellement, mais la différence des potentiels sur les chaînettes s'amoindrissait et parallèlement diminuait l'attraction jusqu'à la disparition. Dans cette expérience, les tubes électrostatiques se propagent dans l'eau transversalement aux conducteurs-chaînettes, se détruisent au sein de l'eau à la manière d'une décharge intermoléculaire (à l'aide des ions); et les lignes du courant se dirigent le long des tubes électrostatiques; comme les tensions de ces tubes sont, avant la destruction, plusieurs fois plus grandes que dans l'air, on observe une attraction aussi plus énergique que dans l'air.

» *Cinquième expérience.* — Deux bandes d'étain verticales et distantes de 4 mm à 5 mm sont immergées dans l'eau; on interpose une plaque de verre un peu plus large que les bandes et l'on observe, pendant le courant, une répulsion des bandes. Les tubes électrostatiques coïncident avec les lignes du courant électrolytique, et, comme la plaque dévie les tubes unissant les faces intérieures contreposées, la résultante des attractions devient plus petite que celle des répulsions occasionnées par les tubes appliqués aux faces extérieures.

» *Sixième expérience.* — On immerge dans l'eau deux feuilles d'étain verticales, parallèles et rapprochées le plus possible, mais cependant ne se collant pas par l'effet de la capillarité; cette paire de feuilles constitue une électrode, tandis que l'autre est un fil métallique vertical, disposé dans le plan de la première électrode, et distant de celle-ci de 3 cm; au passage du courant, les feuilles s'approchent un peu du fil et en même temps se divergent l'une de l'autre de la même manière que si elles étaient dans l'air devant un conducteur électrisé. Les quatrième, cinquième et sixième expériences démontrent l'existence du champ électrostatique au sein d'électrolytes.

» *Septième expérience.* — Si les deux conducteurs linéaires dans l'expérience de Hertz sont remplacés par deux chaînettes flexibles, distantes de 15 cm à 20 cm, elles s'attirent énergiquement. Ici on a les tubes en mouvement entre les conducteurs linéaires, le long desquels ils glissent par leurs extrémités, et c'est bien la cause de l'égalité de vitesse de propagation dans le milieu et dans les conducteurs.

Équations générales de l'électrodynamique dans les conducteurs et les diélectriques parfaits en repos, par **E. Carvallo**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 36.

Après avoir rappelé les deux lois fondamentales de l'électrodynamique, auxquelles il est arrivé [1], l'auteur en donne l'interprétation dynamique et en formule l'expression analytique. Ayant ainsi les équations fondamentales de l'électrodynamique, il les applique au cas particulier indiqué dans le titre, puis il compare ses résultats à ceux de Maxwell :

[1] 1° Le flux du courant total à travers une surface fermée est nul; 2° La force électromotrice totale dans un contour fermé est nulle.

« 1. *Interprétation dynamique des deux lois fondamentales* (1). — Les éléments qui entrent dans les deux lois s'interprètent ainsi : le courant total u est la vitesse de la coordonnée électrique q; il est égal au courant de conduction p dans les conducteurs, au courant de déplacement p_1 dans les diélectriques; dans les deux cas, à $p+p_1$. Le vecteur force électromotrice appliquée U comprend plusieurs parties : celle de Joule, $P = \frac{-p}{C}$, égale au quotient du courant par la conduction, se trouve dans les conducteurs et correspond au frottement; celle de la force électrique

$$P_1 = -X = -\frac{4\pi}{K}\int p_1\, dt$$

se trouve dans les diélectriques et correspond à la réaction d'un ressort; celle des générateurs et récepteurs P_2 correspond à la force appliquée qui vient des générateurs et récepteurs dynamiques, tels que chutes d'eau et machines-outils. L'intégrale de ces forces le long du contour représente le travail virtuel total des forces appliquées pour le déplacement électrique virtuel $\delta q = 1$ le long du contour. Il faut y ajouter le travail des forces d'inertie. C'est le flux, à travers le contour, du vecteur — a' égal à la dérivée de l'induction magnétique changée de signe. Le total doit être égal à zéro; c'est la seconde loi. L'interprétation des deux lois fondamentales est évidente. La première correspond à la liaison d'incompressibilité de l'Hydrodynamique; la seconde exprime que le travail total des forces est nul pour tout déplacement virtuel δq compatible avec la liaison. Elles doivent donc contenir les équations générales de l'électricité pour les corps en repos. Pour les corps en mouvement, il suffit d'ajouter les forces d'inertie que j'ai étudiées au sujet de la roue de Barlow, puis les équations relatives aux déplacements virtuels des corps mobiles. Les équations relatives aux déplacements électriques sont de deux sortes, suivant qu'on envisage soit la masse d'un milieu continu, soit la surface de séparation de deux milieux différents. Nous allons les établir.

» 2. *Équations indéfinies dans un milieu continu.* — Appliquez la première loi à la surface de l'élément $dx\, dy\, dz$ et la seconde loi au contour de chacune de ses trois faces $dx\, dz$,.... Par un raisonnement simple et d'ailleurs classique, vous trouverez

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0,$$

$$\frac{dW}{dy} - \frac{dV}{dz} - a' = 0, \qquad \dots$$

» Dans la notation vectorielle de Grassmann, ces équations s'écrivent

$$\frac{d}{dx}\Big| u = 0 \qquad (cf.\ \text{Maxwell, n° 607}), \qquad \text{(I)}$$

$$\Big|\Big[\frac{d}{dx} U\Big] - a' = 0 \qquad (cf.\ \text{Maxwell, éq. A, B, I ; n}^{os}\ 591,\ 598,\ 611). \qquad \text{(II)}$$

Suivant que le corps est conducteur ou diélectrique, elles deviennent.

$$\frac{d}{dx}\Big| p = 0, \quad \Big|\frac{d}{dx}\Big(-\frac{p}{C} + P_2\Big) = a' \quad \text{(conducteur)} ;$$

$$\frac{d}{dx}\Big|\frac{K}{4\pi}\frac{dX}{dt} = 0, \quad \Big|\Big[\frac{d}{dx}(-X + P_2\Big] = a' \quad \text{(diélectrique)}.$$

» 3. *Équations à la surface de séparation de deux milieux.* — Prenez les axes Ox, Oy parallèles à la surface et appliquez la première loi à l'élément $dx\, dy\, dz$, la seconde loi aux faces de cet élément, vous obtiendrez, en affectant d'un accent les lettres relatives au second milieu,

$$U = U', \qquad V = V' \qquad w = w'. \qquad \text{(III)}$$

» Ainsi, *la composante tangentielle de la force électromotrice est continue; la composante normale du courant total est continue.*

» Trois cas se présentent suivant que les milieux sont tous deux conducteurs, tous deux diélectriques, ou l'un conducteur et l'autre diélectrique. Les équations deviennent, dans ces

(1) « J'ai cherché à adopter les notations de Maxwell (*Traité d'Électricité*, t. II, n° 618). Mais un changement m'a été imposé, pour les forces électromotrices, par des divergences de vue sur ces forces ; de plus, pour soulager la mémoire, j'ai désigné chaque vecteur par la lettre qui représente sa première composante. C'est ainsi que le vecteur a est celui qui a pour composantes a, b, c. Enfin j'ai adopté la notation de Grassmann, préférable à celle de Hamilton, pour représenter la partie vectorielle et la partie algébrique du produit des deux vecteurs. »

trois cas,

$$\frac{p}{C} - P_2 = \frac{p'}{C'} - P'_2, \qquad \frac{q}{C} - Q_2 = \frac{q'}{C'} - Q'_2, \qquad (1)$$

$$r = r,$$

$$X - P_2 = X' - P'_2, \qquad Y - Q_2 = Y' - Q'_2, \qquad (2)$$

$$K \frac{dz}{dt} = K' \frac{dz'}{dt},$$

$$\frac{p}{C} - P_2 = X' - P'_2, \qquad \frac{q}{C} - Q_2 = Y' - Q_2', \qquad (3)$$

$$r = \frac{K'}{4\pi} \frac{dz'}{dt}.$$

» En particulier, si chacun des milieux est homogène, P_2, P'_2, Q_2, Q'_2 sont nuls. Si, de plus, la force électrique initiale est nulle, l'intégration des équations de la dernière colonne conduit à des énoncés simples des formules.

» 4. *Comparaison de nos formules avec celles de Maxwell.* — La formule (I) est dans Maxwell; la formule (II), quoique en divergence avec Maxwell, conduit, pour les conducteurs d'une part et pour les diélectriques d'autre part, aux mêmes équations qu'on peut déduire des équations A, B, I de Maxwell (nos 591, 598, 611). Une différence fondamentale est dans l'interprétation des diverses forces électromotrices que Maxwell semble confondre entre elles. La différence s'accentue dans les formules du n° 4. Les formules (1) concordent avec celles de Maxwell (n° 310). Je n'y trouve pas les formules (2) et (3), que je crois nouvelles.

» Deux caractères différencient notre théorie de celle de Maxwell. C'est, d'une part, la considération exclusive des contours fermés pour écrire les équations de l'équilibre dynamique de l'électricité et, d'autre part, la distinction et la localisation des diverses forces électromotrices qui semblent confondues dans Maxwell; je place exclusivement celle de Jacobi dans les conducteurs, celle qui vient de la différence de potentiel dans les diélectriques.

» Notre méthode semble s'imposer par sa simplicité, par l'absence d'hypothèse, enfin par l'interprétation mécanique que j'ai exposée au n° 2 et qui fait rentrer les lois de l'Électrodynamique dans le principe général des travaux virtuels. »

Nouvelle méthode pour la mesure et l'inscription des températures élevées, par **André Job**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 39.

L'appareil utilisé est l'ampèremètre électrolytique imaginé par l'auteur et dont un modèle a été décrit ici l'an dernier [1]. On se souvient que cet instrument consiste en un voltamètre d'où le mélange d'hydrogène et d'oxygène produit par le courant ne peut s'échapper que par un tube capillaire; par suite de la viscosité des gaz, la pression de ceux-ci prend dans le voltamètre une valeur dépassant d'une quantité h la pression atmosphérique; la mesure de l'excès de pression h, lequel est proportionnel à l'intensité, fait connaître à une constante près cette dernière quantité.

En terminant cette description nous ajouterons que la constante de proportionnalité varie avec la température, la viscosité d'un gaz dépendant elle-même de la température; c'est cette propriété que M. Job met à profit pour la mesure des températures : pour cela il mesure l'excès de pression h lorsque le gaz s'écoule par un tube à la température ordinaire et l'excès lorsque l'écoulement a lieu par un tube porté à la température que l'on veut déterminer; le rapport de H et de h, qui ne dépend que de l'écart des températures, fait connaître cet écart.

Comme il ne conviendrait pas d'envoyer dans un tube fortement chauffé, ni un mélange d'oxygène et d'hydrogène (qui donnerait lieu à une explosion), ni de l'hydrogène (qui se diffuserait), la mesure doit porter uniquement sur l'oxygène. Pour cela l'ampèremètre électrolytique est légèrement modifié. Il est constitué par un flacon à large goulot contenant une électrode cylindrique en tôle reliée au pôle positif d'une pile. A travers le bouchon passe un tube à entonnoir à l'extrémité inférieure duquel on fixe, à l'aide d'un bouchon, un vase poreux contenant l'autre électrode; un fil de platine passant dans le tube à entonnoir la relie au pôle négatif de la pile. Les deux cellules électrolytiques sont remplies d'une solution de soude à 15 p. 100 qu'on recouvre d'une légère couche de pétrole pour l'empêcher de mousser. L'hydrogène s'échappe par le tube à entonnoir. L'oxygène produit dans le vase extérieur s'écoule par un tube fixé au bouchon de ce vase et muni d'un robinet à trois voies permettant de diriger le courant gazeux soit dans un tube capillaire à la température ordinaire, soit dans un autre tube maintenu à la température que l'on veut évaluer;

[1] *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 268, 17 août 1901.

le premier est un bout de tube thermométrique, le second est un tube de porcelaine à canal de 1 mm de diamètre dans lequel on engage, sur une longueur d'environ 5 cm, un fil de platine capable d'y glisser à frottement doux.

L'appareil ainsi constitué a été étudié par comparaison avec un pyromètre thermoélectrique de M. Le Chatelier. Le tube capillaire et le couple ont été placés côte à côte dans un four et portés plusieurs fois à des températures d'environ 1 200°. M. Job a constaté que les mesures de pression et les indications du galvanomètre demeuraient toujours parfaitement concordantes. Le pyromètre à viscosité reste donc comparable à lui-même. C'était à prévoir : le fil de platine est bien maintenu dans une position invariable à l'intérieur de sa gaine de porcelaine. De plus, il s'y trouve constamment baigné dans un courant d'oxygène qui le préserve de toute altération.

La comparaison a conduit en outre à un résultat important. *Le rapport de H à h variait comme une fonction linéaire de la température.* Il résulte de là qu'il suffit de déterminer deux points fixes pour connaître complètement la graduation de l'appareil.

En somme, ajoute M. Job, on a là un pyromètre très commode, précis et sensible, que chaque opérateur peut construire et graduer lui-même. Il semble appelé à rendre des services dans les cas où l'installation d'un galvanomètre et d'un couple fait défaut. Mais il présente en outre un avantage nouveau : les variations de température étant traduites par des variations de pression, leur inscription est rendue facile. On fera passer dans le voltamètre un courant d'intensité constante, le gaz dégagé sera dirigé d'une façon permanente dans le tube capillaire chaud, et un manomètre enregistreur relié au voltamètre tracera la courbe des températures. »

Sur la valeur absolue des éléments magnétiques au 1er janvier 1902, par **Th. Moureaux**, présenté par M. Mascart. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 41-42.

Le champ magnétique terrestre étant troublé à l'Observatoire du Parc Saint-Maur, depuis l'établissement des lignes de tramways électriques à trolley dans la région [1], et, pour la même cause, les observations magnétiques de Nice et de Perpignan ne présentant plus maintenant une garantie suffisante pour être publiées, M. Moureaux se borne, cette année, à donner les valeurs obtenues à l'Observatoire du Val-Joyeux.

Ce nouvel établissement, destiné à remplacer la station magnétique du Parc Saint-Maur, est situé sur le territoire de la commune de Villepreux, à 9 km ONO de Versailles, par 0° 19′ 23″ de longitude ouest de Paris, et 48° 49′ 16″ de latitude nord. Le magnétographe de M. Mascart, mis en service en décembre 1900, a fonctionné très régulièrement pendant toute l'année 1901. Les courbes de variations, dont les repères sont fréquemment vérifiés, sont dépouillées pour chaque heure du jour.

Les valeurs des éléments magnétiques au 1er janvier 1902 sont déduites de toutes les valeurs horaires relevées le 31 décembre 1901 et le 1er janvier 1902, rapportées à des mesures absolues faites aux dates qui précèdent et suivent immédiatement le 1er janvier. La variation séculaire résulte de la comparaison entre les valeurs actuelles et celles qui ont été données pour le 1er janvier 1901 [1].

Valeurs absolues et variation séculaire des éléments magnétiques à l'Observatoire du Val-Joyeux.

Val-Joyeux.	Valeurs absolues du 1er janvier 1902.	Variation séculaire.
Déclinaison occidentale	15° 10′, 35	—4′,05
Inclinaison	64° 58′, 2	—1′,7
Composante horizontale	0,19684	+0,00022
Composante verticale	0,42156	—0,00005
Composante nord	0,18998	+0,00027
Composante ouest	0,05152	—0,00016
Force totale	0,46525	+0,00005

Séance du 13 janvier 1902.

Sur les corps radio-actifs, par **P. Curie** et **Mme S. Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 85-87.

Dans cette note les auteurs exposent les idées qui les ont guidés dans leur étude des corps radio-actifs.

Ils admettent que chaque atome d'un corps radio-actif fonctionne comme *une source constante d'énergie*, hypothèse d'où l'on peut tirer plusieurs conséquences pouvant être soumises au contrôle de l'expérience sans qu'il soit néces-

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 495, 28 décembre 1901.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXVI, p. 112, 19 janvier 1901.

saire de préciser où le corps radio-actif puise cette énergie.

Si l'on cherche à préciser l'origine de l'énergie de radio-activité, on peut faire diverses suppositions qui viennent se grouper autour de deux hypothèses très générales : 1° chaque atome radio-actif possède, à l'état d'énergie potentielle, l'énergie qu'il dégage ; 2° l'atome radio-actif est un mécanisme qui puise à chaque instant en dehors de lui-même l'énergie qu'il dégage. Les auteurs examinent ces deux hypothèses [1] et concluent ainsi :

« Dans l'étude de phénomènes inconnus, on peut faire des hypothèses très générales et avancer pas à pas avec le concours de l'expérience. Cette marche méthodique et sûre est nécessairement lente. On peut, au contraire, faire des hypothèses hardies, où l'on précise le mécanisme des phénomènes; cette manière de procéder a l'avantage de suggérer certaines expériences et surtout de faciliter le raisonnement en le rendant moins abstrait par l'emploi d'une image. En revanche, on ne peut espérer imaginer ainsi *a priori* une théorie complexe en accord avec l'expérience. Les hypothèses précises renferment presque à coup sûr une part d'erreur à côté d'une part de vérité ; cette dernière partie, si elle existe, fait seulement partie d'une proposition plus générale à laquelle il faudra revenir un jour. »

[1] « Dans la première hypothèse, disent-ils, l'énergie potentielle des corps radio-actifs doit s'épuiser à la longue, bien que l'expérience de plusieurs années ne nous indique jusqu'à présent aucune variation. Si, par exemple, on admet, avec Crookes et J.-J. Thomson, que le rayonnement genre cathodique est matériel, alors on peut concevoir que les atomes radio-actifs sont en voie de transformation. Les expériences de vérification, faites jusqu'à présent, ont donné des résultats négatifs. On n'observe au bout de quatre mois, aucune variation dans le poids des substances radifères et aucune variation dans l'état du spectre.

» Les théories émises par M. Perrin (*Revue scientifique*, février 1901) et par M. Becquerel (*Comptes rendus*, 9 décembre 1901) sont également des théories de transformation atomique. M. Perrin assimile chaque atome à un système planétaire dont certaines particules chargées négativement pourraient s'échapper. M. Becquerel explique la radio-activité induite par une dislocation progressive et complète des atomes.

» Les hypothèses du deuxième groupe, dont nous avons parlé plus haut, sont celles d'après lesquelles les corps radio-actifs sont des transformateurs d'énergie.

» Cette énergie pourrait être empruntée, contrairement au principe de Carnot, à la chaleur du milieu ambiant qui éprouverait un refroidissement. Elle pourrait encore être empruntée à des sources inconnues, par exemple à des radiations ignorées de nous. Il est vraisemblable, en effet, que nous connaissons peu de choses du milieu qui nous entoure, nos connaissances étant limitées aux phénomènes qui peuvent agir sur nos sens, directement ou indirectement. »

Principe relatif à la distribution des lignes d'induction magnétique, par **Vasilesco Karpen**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 88-90.

« Le problème de la distribution des lignes d'induction se présente à chaque instant dans l'étude des dynamos; pour trouver les flux magnétiques utilisés dans ces machines, les ingénieurs appliquent les lois de Kirchhoff aux tubes formés par les lignes d'induction tracées de façon approximative.

» La généralisation des lois de Kirchhoff, on le sait, n'a rien d'arbitraire ou d'empirique; toute l'incertitude consiste dans le tracé des lignes d'induction, et l'équation de continuité à laquelle doit satisfaire l'induction ne se prête guère à guider ce tracé.

» Le principe que j'énonce plus loin, équivalent, d'ailleurs, à l'équation de continuité, se prête mieux que celle-ci aux applications, étant l'expression directe d'une loi qui semble naturelle et générale.

» Une distribution approchée ou arbitraire des lignes d'induction peut être considérée comme une distribution réelle, en imaginant que les parois des tubes d'induction sont imperméables aux lignes de force; on peut alors dire qu'à chaque distribution correspond une certaine énergie intrinsèque du milieu et, dans ces conditions, nous pouvons énoncer le principe suivant : *Dans un milieu magnétique soumis à l'action d'un certain nombre de forces magnétomotrices, le parcours des lignes d'induction est tel que l'énergie intrinsèque du milieu est maximum.*

» Soient ε, ε',... les forces magnétomotrices agissantes, Φ, Φ',... les flux traversant ces forces magnétomotrices.

» L'énergie intrinsèque du milieu sera

$$W = \frac{1}{8\pi}(K\varepsilon\Phi + K'\varepsilon'\Phi' + \ldots),$$

K, K',... étant des coefficients moindres que l'unité.

» Il faudra donc choisir le trajet des lignes

d'induction de façon à rendre maximum cette expression qui est pratiquement calculable.

» Si, comme il arrive souvent, on n'a qu'une seule force magnétomotrice, le flux la traversant devra être maximum, ou, ce qui revient au même, la réluctance devra être minimum.

» Ce principe, au même titre que le principe de la moindre action, paraît presque évident [1].

» Ce principe a, naturellement, son analogue dans tous les cas où intervient l'équation de continuité. »

[1] On peut le démontrer de la façon suivante :

« Chaque distribution des lignes d'induction détermine une distribution continue du potentiel V. Le champ h sera dirigé suivant les lignes de force et l'énergie par unité de volume :

$$\frac{1}{8\pi}\int_0^h \mu d h^2 = f(h^2, x, y, z).$$

μ étant le coefficient de perméabilité fonction de x, y, z et h.

» L'énergie totale du milieu sera

$$W = \int\int\int f(h^2, x, y, z) dx\, dy\, dz,$$

Considérons le vecteur H dont les composantes sont $\frac{\partial V}{\partial x}$, $\frac{\partial V}{\partial y}$, $\frac{\partial V}{\partial z}$, nous aurons

$$h = H \cos(H, h)$$

et

$$f(h^2, x, y, z) < f(H^2, x, y, z),$$

car la fonction f croit avec h.

» L'énergie W sera donc inférieure à la quantité

$$W_1 = \int\int\int f'_1 \left[\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2\right], \; x, y, z \Big\} dx\, dy\, dz,$$

et ne lui sera égale que pour la distribution réelle lorsque H se confondra avec h.

» Pour démontrer le principe, il suffira donc de montrer que W_1 est maximum pour la vraie distribution.

» La variation de W_1 est

$$\delta W_1 = 2\int\int\int \frac{\partial f}{\partial H^2}\left(\frac{\partial V}{\partial x}\delta\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}\delta\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial z}\delta\frac{\partial V}{\partial z}\right) dx\, dy\, dz.$$

» Intégrant par parties les trois termes de cette somme, respectivement par rapport à x, y, z, remarquant qu'à l'infini $\delta V = 0$ et posant

$$\frac{\partial f}{\partial H^2} = f',$$

il vient

$$\delta W_1 = -2\int\int\int\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(f'\frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(f'\frac{\partial V}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(f'\frac{\partial V}{\partial z}\right)\right]\delta V\, dx\, dy\, dz.$$

» Pour que cette variation soit identiquement nulle, il faut que

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(f'\frac{\partial V}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(f'\frac{\partial V}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(f'\frac{\partial V}{\partial z}\right) = 0;$$

or la distribution réelle satisfait à cette équation; car, dans ce cas,

$$\frac{\partial f}{\partial H^2} = \frac{\partial f}{\partial h^2} = \frac{1}{8\pi}\mu,$$

et l'équation précédente devient l'équation de continuité.

Sur l'historique des cohéreurs à limaille, par **E. Branly**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 132.

M. Branly adresse, par l'intermédiaire de M. H. Poincaré, une réclamation à propos de la notice sur la télégraphie sans fil, publiée par M. H. Poincaré dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1902*.

C'est par erreur que le *tube à limaille*, employé dans la télégraphie sans fil comme récepteur des ondes hertziennes, est présenté dans cette notice comme ayant eu *deux* inventeurs : M. Branly et M. Lodge.

Comme l'atteste une lettre de M. Lodge à M. Branly, du 8 janvier 1899, M. Lodge ne revendique aucune part dans la découverte que M. Branly a faite, en 1890, de l'action que les étincelles électriques exercent à distance sur les limailles métalliques.

Le Gérant : **C. NAUD.**

Tome XXX. Samedi 1er Février 1902 9e Année. — N° 5.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LE CHEMIN DE FER DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900 (1)

IV. STATION DE PRODUCTION DU COURANT UTILISÉ

Le courant électrique transporté par la ligne était produit par une sous-station de transformation ; cette sous-station se trouvait sur le quai d'Orsay, en bordure de l'avenue de la Bourdonnais (fig. 53).

La sous-station dont il s'agit produisait à la fois le courant qu'utilisait le chemin de fer et le courant qu'utilisait la plate-forme mobile; pour chacune de ces deux installations, une ligne distribuait l'énergie à la fois aux moteurs actionnés et aux lampes utilisées, lampes à arc et lampes à incandescence.

La sous-station était alimentée par des courants alternatifs triphasés, à la tension de 5 000 volts et à la fréquence de 25 périodes par seconde. Ces courants étaient engendrés à la station centrale que la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest possède à Issy-les-Moulineaux, et transportés sur une distance de 5 400 m, au moyen de 2 câbles, de 101,34 mm^2 et à 3 conducteurs; normalement, l'un des câbles assurait le service et l'autre était en réserve ; ces câbles longeaient la voie de la ligne Invalides-Champ de Mars-Versailles, entre l'usine génératrice et la sous-station. Finalement, la sous-station produisait du courant continu, à la tension de 550 volts, et ce courant était distribué au chemin de fer par une ligne à 2 fils (troisième rail et rails du roulement), à la plateforme mobile par une ligne à 3 fils (les 170 moteurs étaient également répartis sur les deux ponts).

Pour la distribution par l'électricité de l'énergie à fournir aux moteurs qui devaient

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 7 septembre 1901, t. XXVIII, p. 353.

faire démarrer la plateforme mobile, puis produire son entraînement continu, deux modes furent envisagés :

1° L'emploi de courants alternatifs triphasés et de moteurs d'induction ;

2° L'emploi de courants continus et de moteurs série.

A la suite de très intéressantes discussions sur les différentes solutions qui étaient

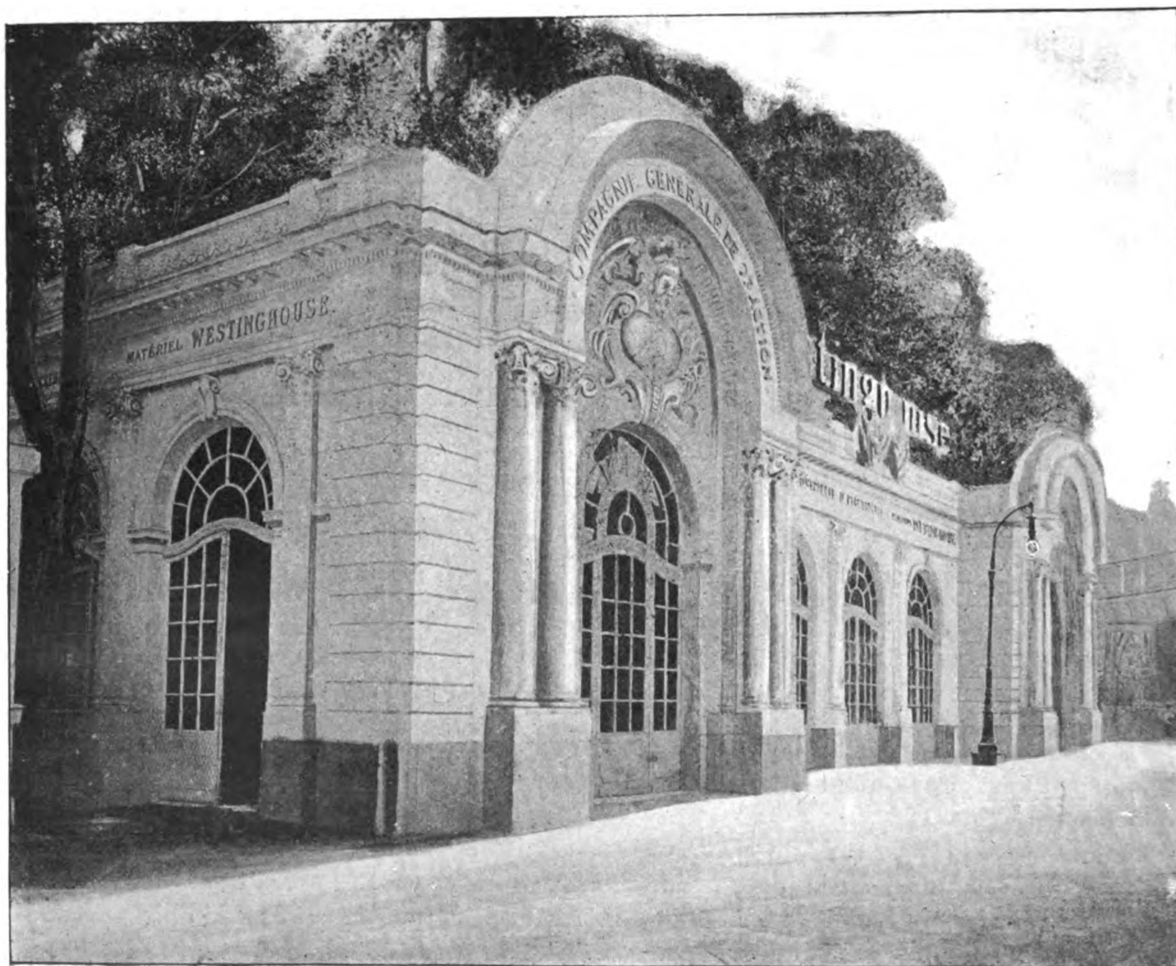


Fig. 53. — Sous-station du quai d'Orsay.

proposées pour résoudre l'un ou l'autre des deux problèmes considérés, seuls deux projets restèrent en présence, celui de M. Boucherot et celui de M. Mazen, le premier relatif à l'emploi des courants alternatifs triphasés et le second relatif à l'emploi du courant continu. On crut devoir préférer l'emploi du courant continu, en raison de la plus grande sûreté de maniement qu'il parut présenter, et l'on adopta le système préconisé par M. Mazen : on produisait le démarrage des moteurs en augmentant progressivement le voltage aux bornes de la machine qui alimentait la ligne, et ceci en faisant varier le courant d'excitation de cette machine. Par conséquent la sous-station dut être munie de transformateurs tournants et de groupes pour l'excitation séparée des génératrices de ces transformateurs [1].

---

[1] Voir au sujet de ces discussions l'étude très complète présentée par M. Ch. Jovignot à la Société Interna-

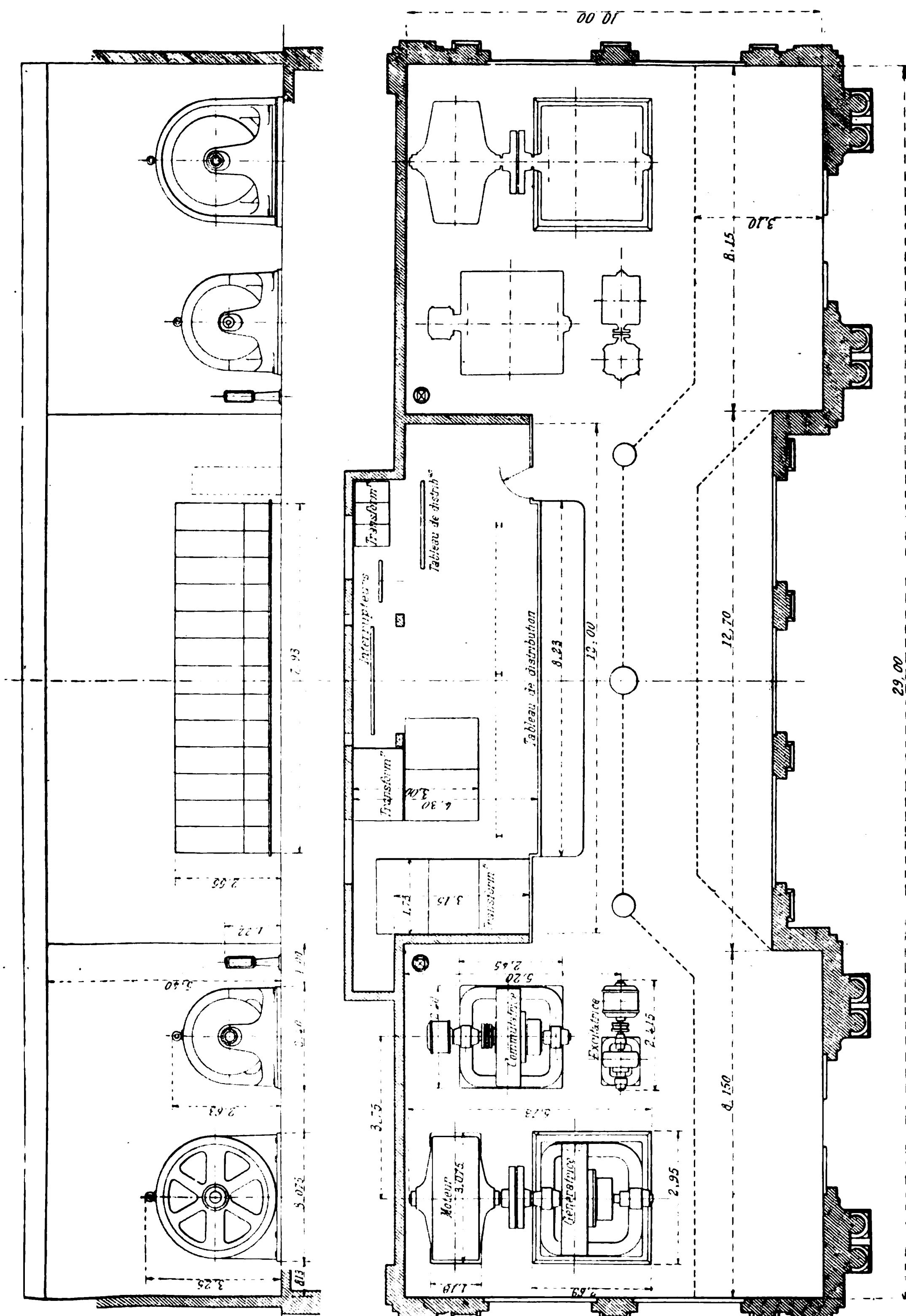


Fig 54. — Plan de la sous-station.

Pour la production du courant de ligne du chemin de fer, la transformation se faisait au moyen de transformateurs statiques et de commutatrices.

C'est ainsi qu'un groupe de transformation complet, capable de répondre à lui seul à toutes les exigences que pouvaient réclamer ensemble les deux services à assurer, comprenait :

1° Un transformateur tournant (moteur d'induction à courants alternatifs triphasés — génératrice de courant continu) pour produire le démarrage et l'entraînement continu de la plateforme mobile ;

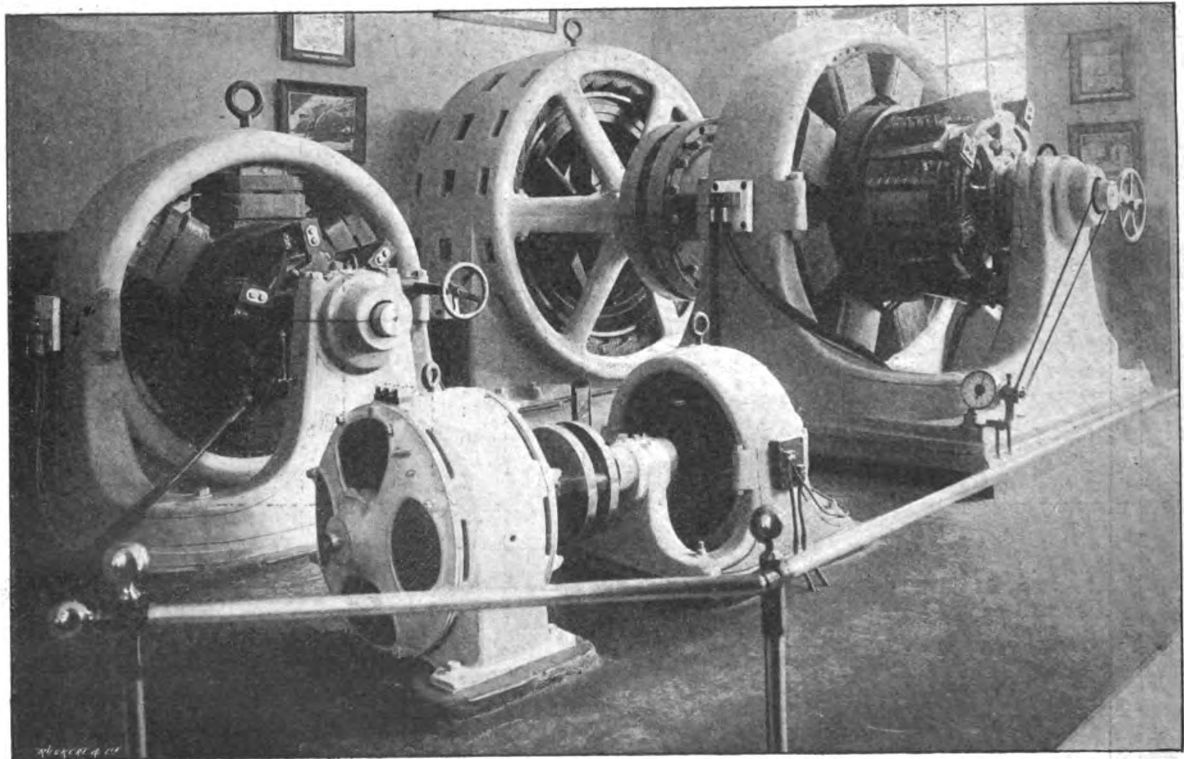


Fig. 54 *bis*. — Vue de la sous-station.

2° Une commutatrice (courants alternatifs triphasés — courant continu) pour fournir le courant qu'utilisait le chemin de fer ;

3° Un petit transformateur tournant pour produire le démarrage, puis l'excitation séparée, de la génératrice qui fournissait le courant qu'utilisait la plateforme mobile ;

4° Un groupe de trois transformateurs statiques, monophasés, pour l'alimentation de la commutatrice ;

5° Un groupe de trois petits transformateurs statiques, monophasés, pour l'alimentation du petit transformateur tournant.

L'équipement de la sous-station était constitué par deux groupes de transformation complets (un groupe de service et un groupe de réserve), par les appareils de distribution

---

tionale des Électriciens, dans sa séance du 9 janvier 1901 : Sur la plateforme électrique de l'Exposition universelle de 1900, étude résumée dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 165, 4 mai 1901.

qui étaient nécessaires pour la mise en service de ces groupes, et par les appareils qui mesuraient les différents éléments de l'énergie électrique mise en jeu.

Il fallut disposer les différentes parties de cet équipement de façon à respecter les arbres qui se trouvaient sur l'emplacement que devait occuper la sous-station : les figures 54 et 54 *bis* représentent les dispositions qui furent adoptées.

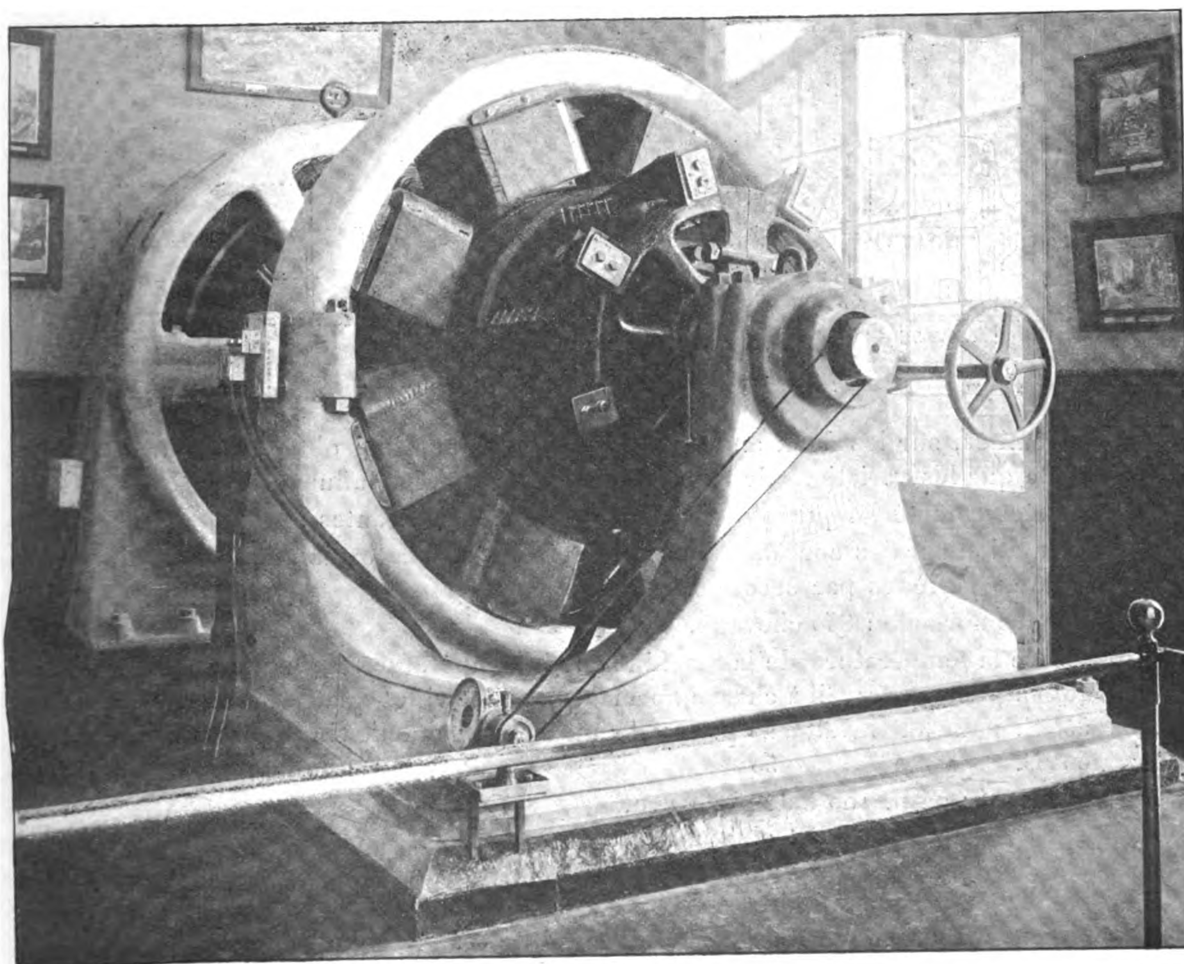


Fig. 55. — Transformateur tournant.

Transformateur tournant servant au démarrage de la plateforme mobile (fig. 55). — Ce transformateur était formé d'un moteur d'induction, à courants triphasés, et d'une génératrice de courant continu, à excitation séparée ou en dérivation; le moteur commandait la génératrice par l'intermédiaire d'un accouplement élastique. La vitesse normale était de 290 tours par minute.

Moteur (fig. 56 et 56 *bis*). — Le moteur, d'une puissance de 850 chevaux, était alimenté directement sous 5 000 volts et 25 périodes par seconde.

Les courants à haute tension s'y trouvaient distribués dans l'enroulement à champ tournant que présentait le stator, les trois phases étant montées en triangle ; cet enroulement était porté par un noyau en tôles de fer doux, lamellées et assemblées à queue d'hironde, le noyau était pris dans une enveloppe en fonte (fig. 57), et l'ensemble était placé à l'inté-

rieur d'un fort bâti en fonte, formé de deux moitiés séparées par un joint horizontal.

L'induit était un rotor à enroulement en court-circuit et du type à tambour cannelé (fig. 58). Le noyau était en tôles de fer doux, lamellées ; il était fixé sur le croisillon en fonte par des queues d'hironde. L'enroulement était formé de barres de cuivre, étroites, maintenues dans les cannelures par des cales situées à la partie supérieure de ces cannelures et par deux anneaux de grande section, supportés respectivement de part et d'autre du noyau secondaire (il n'y avait pas de frettes) ; les barres secondaires étaient boulonnées,

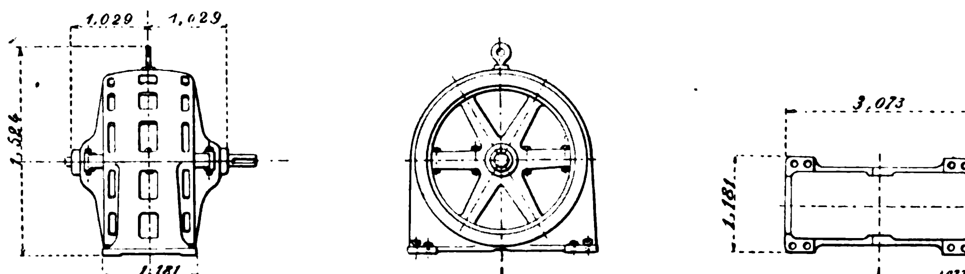


Fig. 56. — Moteur du transformateur tournant.

à leurs extrémités, sur les deux anneaux, les connexions ainsi obtenues ayant été faites de telle sorte que les variations de température n'aient pu les influencer.

Les données caractéristiques de ce moteur étaient les suivantes :

1° Alimentation par des courants alternatifs triphasés, à la tension de 5 000 volts et à la fréquence de 25 périodes par seconde.

2° Puissance normale : 850 chevaux.

3° Excès de la température de la machine sur la température ambiante :

40° C. pour un travail à charge normale pendant vingt-quatre heures,
55° C. pour un travail à 25 p. 100 de surcharge pendant vingt-quatre heures,
60° C. » 50 » » une heure.

4° Rendement : 92 p. 100 à demi-charge,
93 » à trois quarts de charge,
93 » à pleine charge de 850 chevaux.

Ces rendements tiennent compte des pertes dans le cuivre, des pertes dans le fer, des pertes dues aux frottements et à la résistance de l'air; ils furent déterminés par la méthode des pertes séparées.

5° Intensité exigée par phase : 85 ampères en régime normal;
Facteur de puissance : 89 p. 100 à trois quarts de charge,
92 » à pleine charge de 850 chevaux;

6° Nombre de pôles du champ tournant : 10;
Vitesse : 300 tours par minute (environ) à vide,
290 » en régime normal,
est pratiquement une fonction linéaire de la charge entre la marche à vide et la marche à 50 p. 100 de surcharge.

7° Pour une tension constante de 5 000 volts aux bornes, le rapport entre le couple moteur instantané et le couple moteur normal pourra atteindre la valeur :

2 au démarrage,
2,5 au moment d'un à-coup.

8° Isolement entre l'enroulement et la carcasse du stator résistant, après échauffement, à une tension alternative de 12 000 volts.

Enfin, remarquons que la ventilation se trouvait très bien assurée.

Génératrice. — La génératrice (fig. 55) avait une puissance de 600 kilowatts, sous 550 volts. Elle déterminait le démarrage de la plateforme mobile avec 900 ampères sous 200 volts, et assurait l'entraînement continu avec 320 ampères sous 450 volts, le trottoir à grande vitesse marchant alors à raison de 7,8 km par heure.

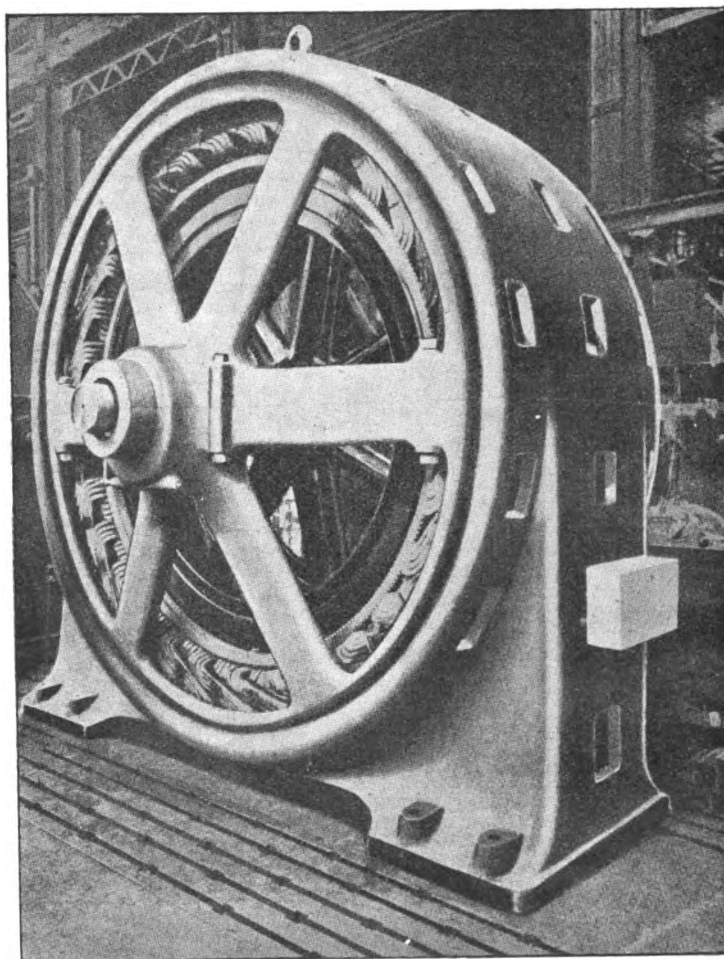


Fig. 56 *bis*. — Moteur du transformateur tournant.

Les données caractéristiques de cette génératrice étaient les suivantes :

1° Machine calculée pour donner 1 090 ampères sous 550 volts, à 290 tours par minute.

2° Excès de la température de la machine sur la température ambiante : 40° C. pour un travail à charge normale pendant vingt-quatre heures. A la suite de cette marche, la machine pouvait supporter une surcharge de 50 p. 100 pendant deux heures, ou une surcharge de 100 p. 100 (2 200 ampères) momentanément.

3° Rendement, calculé par la méthode des pertes séparées :
94 p. 100 à pleine charge,
93 » à trois quarts de charge,
92 » à demi-charge.

4° Nombre de pôles : 8

Excitation par un enroulement travaillant entre les bornes de la machine ou entre celles d'une excitatrice séparée ;

5° Isolement des bobines inductrices et isolement de l'enroulement induit résistant à une tension alternative de 3 500 volts.

Les pièces polaires étaient lamellées et constituées par des tôles d'acier laminé, noyées dans la fonte à l'une de leurs extrémités.

L'induit était du type tambour à rainures, avec enroulement en parallèle. L'enroulement induit possédait un système d'équilibrage qui assurait l'uniformité de la distribution du courant dans les circuits de l'induit, et qui aurait pu même maintenir cette uniformité dans le cas où l'induit serait venu à se décentrer de 1,6 mm, par rapport à l'alésage de la carcasse inductrice. Cet enroulement était formé par des barres de cuivre, forgées et cintrées, sans joints ; les bobines se trouvaient maintenues dans les rainures par des cales en fibre dure, sans l'aide de frettes. Le noyau de l'induit était constitué par des disques

en tôle d'acier, encastrés à queue d'hironde sur le croisillon en fonte et maintenus entre deux plaques de serrage.

Le collecteur comportait des lames de cuivre dur étiré, isolées au mica. Ces lames étaient maintenues, d'une part, par une bague venue de fonte avec le croisillon de l'induit et, d'autre part, par des segments solidement maintenus au moyen de forts boulons; cette disposition avec segments permettait d'enlever une ou plusieurs des lames sans déranger les autres. Les conducteurs de l'induit se trouvaient soudés aux collerettes des lames du collecteur, et les collerettes, en cuivre dur laminé, avaient été rivées et brasées sur ces lames.

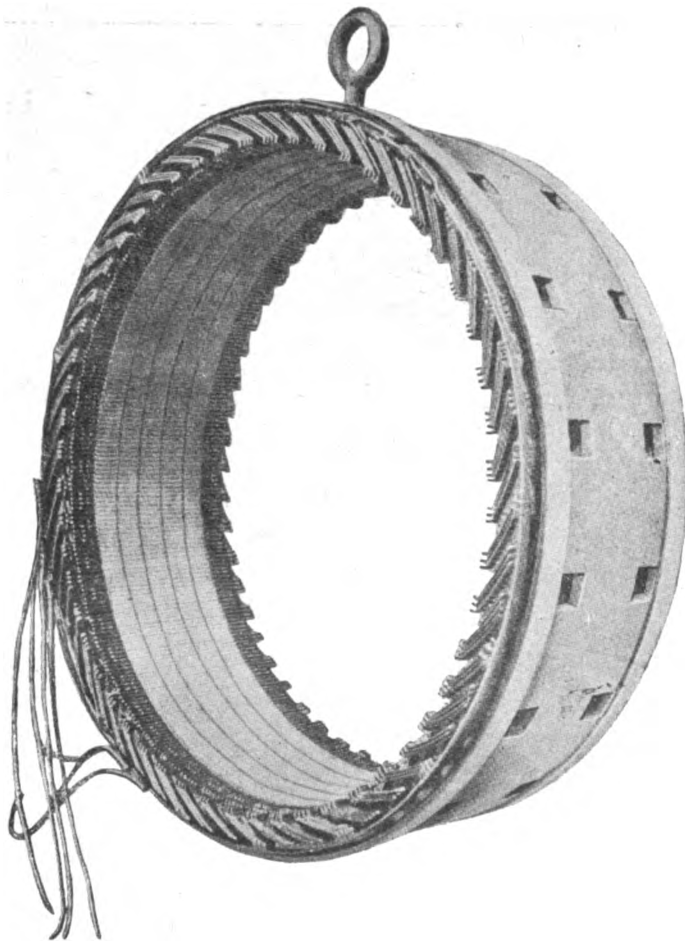


Fig. 57. — Stator du moteur.
(Pour le moteur sous 5 000 volts, l'enroulement n'est pas fait au moyen de bandes de cuivre).

Les balais étaient en charbon. La densité du courant s'y trouvait être d'environ 4,5 ampères par cm², à pleine charge.

Enfin, partout la ventilation pouvait se faire facilement.

Le démarrage de ce transformateur tournant se faisait par le côté courant continu, la génératrice fonctionnant alors comme moteur; le courant utilisé pour cette opération était pris soit sur le groupe d'excitation correspondant à la génératrice, soit, lorsque cela était possible, sur le tableau de distribution de la basse tension (¹). Le moteur était mis sous 5 000 volts dès qu'il arrivait dans le voisinage du synchronisme avec les courants du réseau à haute tension, ce qu'indiquait tout simplement un tachymètre monté sur l'arbre de la génératrice.

Pour opérer le démarrage de la plateforme mobile la génératrice était excitée séparément, sous une intensité progressivement croissante, et dès que la plateforme mobile avait atteint sa vitesse normale, la génératrice s'excitait en dérivation, l'excitation séparée étant alors supprimée.

Commutatrice (fig. 59 et 59 *bis*). — La commutatrice, d'une puissance de 450 kilowatts (²),

(¹) Ce second moyen était celui dont on se servait généralement, car, le service du chemin de fer ayant toujours commencé avant celui de la plateforme mobile, normalement il y avait une commutatrice en fonctionnement lorsque l'on avait à procéder au démarrage de la plateforme.

(²) Les dessins portent 600 kilowatts, comme valeur de la puissance de la commutatrice : les commutatrices

était alimentée par des courants triphasés, sous 350 volts efficaces. Sa vitesse de marche était de 500 tours par minute (6 pôles — 3 champs tournant avec une fréquence de 25 périodes par seconde).

L'armature était pourvue d'un enroulement pour courant continu et correspondant à une pleine charge normale de 818 ampères sous 550 volts. Cette armature était du type tambour à cannelures ; le noyau se trouvait formé de disques en tôle d'acier, encastrés à queue d'hironde sur un croisillon en fonte et maintenus entre deux plaques de serrage. L'enroulement était constitué par des barres de cuivre, forgées et cintrées, sans joints ; les bobines se trouvaient maintenues dans les rainures par des cales en fibre dure, sans l'aide de frettes.

Du côté des courants alternatifs les balais frottaient sur des bagues collectrices en bronze spécial ; ils étaient en cuivre et à raison d'un par bague. Du côté du courant continu les balais étaient en charbon et frottaient sur un collecteur constitué par des lames de cuivre dur étiré, isolées au moyen de mica ; ces lames se trouvaient maintenues, d'une part, par une bague venue de fonte avec le croisillon de l'induit, et, d'autre part, par des segments solidement assujettis au moyen de forts boulons ; le nombre des lames était tel que la différence de potentiel entre deux lames consécutives se trouvait toujours inférieure à 10 volts ; les conducteurs de l'induit étaient soudés aux collerettes des lames du collecteur ; enfin, dans les balais de charbon la densité de courant normale était d'environ 6,5 ampères par cm². Au sujet de la commutation, ajoutons qu'il n'était pas nécessaire de faire varier le calage des balais lorsque la charge variait de la valeur 0 à la valeur qui correspondait à une surcharge de 50 p. 100.

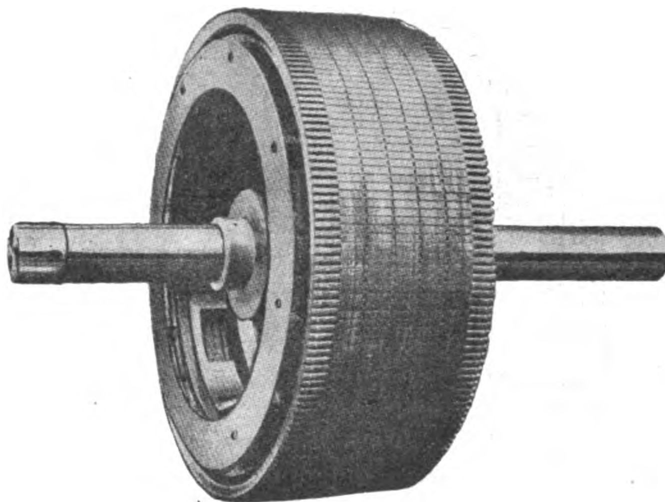


Fig. 58. — Rotor du moteur.

Les trois courants alternatifs d'alimentation étaient engendrés respectivement dans les circuits secondaires de trois transformateurs statiques monophasés, les circuits primaires de ces transformateurs étant branchés respectivement sur chacune des trois phases du réseau de distribution sous 5 000 volts ; ces transformateurs statiques avaient chacun une puissance de 170 kilowatts ([1]).

Les circuits des courants triphasés étaient tous disposés suivant le montage en triangle.

L'excitation du stator était produite par la machine même, avec un enroulement compound ; l'enroulement série était tel que, la machine marchant en génératrice de courant continu, la tension aux bornes variait de 500 à 550 volts lorsque la charge passait de la valeur 0 à sa valeur normale. Les bobines shunts étaient constituées par du fil de cuivre et

prévues étaient, en effet, de 600 kilowatts, mais elles furent perdues dans le naufrage du *Pauillac*, et durent être remplacées par les seules commutatrices que l'on put alors se procurer de suite. D'ailleurs, la puissance de 450 kilowatts fut parfaitement suffisante.

([1]) Ils avaient été prévus d'une puissance de 220 kilowatts, pour l'alimentation de la commutatrice de 600 kilowatts.

les bobines séries par des barres. Les pièces polaires étaient lamellées et formées de tôles d'acier laminé ; ces tôles se trouvaient maintenues par la fonte du bâti.

Les isolements des circuits, tant pour les bobines inductrices que pour les bobines induites, avaient été éprouvés sous une tension alternative de 2 500 volts.

Enfin, la ventilation était partout très bien assurée.

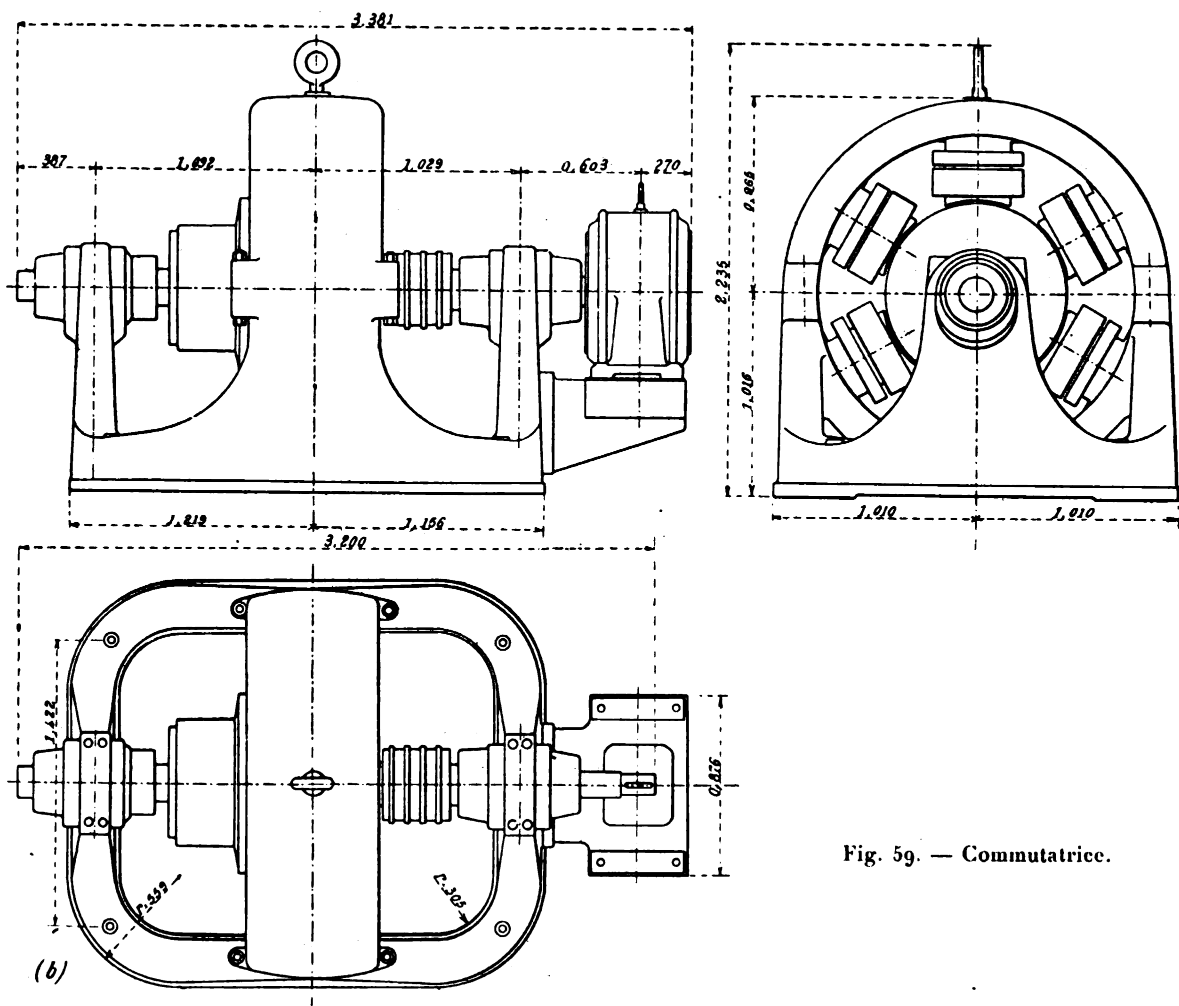


Fig. 59. — Commutatrice.

Cette commutatrice était démarrée par un moteur d'induction à courants triphasés, d'une puissance d'environ 40 chevaux. Le rotor de ce moteur était calé sur l'une des extrémités de l'arbre qui portait l'armature de la commutatrice (fig. 60), et le stator se trouvait dans un bâti porté par une console que présentait le bâti principal de cette machine.

Le moteur de démarrage était à 4 pôles ; sa vitesse de synchronisme était donc de 750 tours par minute. Pour opérer le démarrage, on branchait le moteur sur les enroulements secondaires des transformateurs statiques destinés à assurer la marche de la commutatrice, en reliant ses bornes d'abord aux milieux, puis ensuite aux extrémités de ces enroulements ; par conséquent, le voltage appliqué était de : 175 volts pendant une première phase, 350 volts pendant une seconde phase (fig. 61 : *ab*, *bc*, *ca*, puis AB, BC, CA). Dès

que la commutatrice avait une vitesse nettement supérieure à celle de son synchronisme (500 tours par minute) on arrêtait l'alimentation du moteur, puis on attendait l'extinction de lampes de phase (fig. 62) pour alimenter immédiatement la commutatrice même ; à partir de cet instant le côté courant continu pouvait être utilisé. On remarquera que le moteur d'induction ne servait qu'au moment du démarrage.

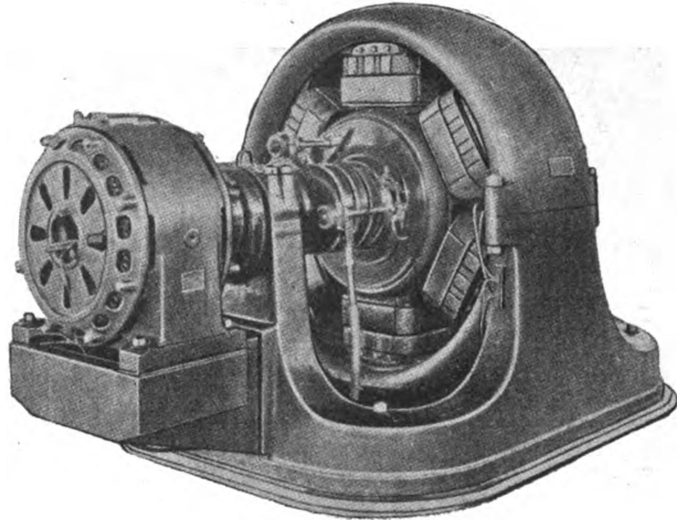


Fig. 59 *bis*. — Commutatrice.

Les rendements de la commutatrice étaient de :

94,5 p. 100 à pleine charge.
93,5 » à 3/4 de charge.
91,5 » à 1/2 charge.

Ces rendements, déterminés par la méthode des pertes séparées, tenaient compte des pertes dans le cuivre, des pertes dans le fer, et des pertes par frottement.

Quant à l'excès de la température de la machine sur la température ambiante, il était de : 45° C. pour une marche pendant vingt-quatre heures, avec un débit de 818 ampères sous 550 volts;
55° C. pour une marche pendant vingt-quatre heures avec une surcharge de 25 p. 100 ;
70° C. pour une marche pendant une heure avec une surcharge de 50 p. 100.

Et, dans tous les essais de température dont il vient d'être question, le flux magnétique était réglé de manière que, du côté des courants alternatifs, le facteur de puissance ne fût pas inférieur à 95 p. 100.

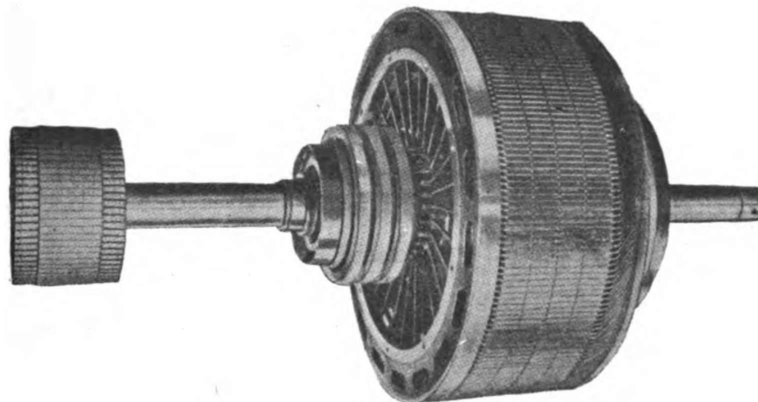


Fig. 60. — Rotor du moteur de démarrage de la commutatrice.

En réalité, l'une des deux commutatrices assurait le service du chemin de fer, et l'autre assurait celui de la plateforme mobile; la plateforme était démarrée au moyen d'un transformateur tournant, puis on maintenait sa vitesse uniquement au moyen d'une commutatrice.

Transformateur tournant pour l'excitation séparée (fig. 63). — Ce transformateur était

formé par un moteur d'induction à courants triphasés et par une génératrice de courant continu; le moteur entraînait la génératrice par l'intermédiaire d'un accouplement élastique. Trois transformateurs statiques monophasés, d'une puissance de 10 kilowatts chacun, et alimentés sous 5000 volts, assuraient l'alimentation du moteur, sous 200 volts. Ce moteur, d'une puissance de 40 chevaux, à la vitesse de 710 t: m, était à 4 pôles (fig. 64, 64 *bis* et

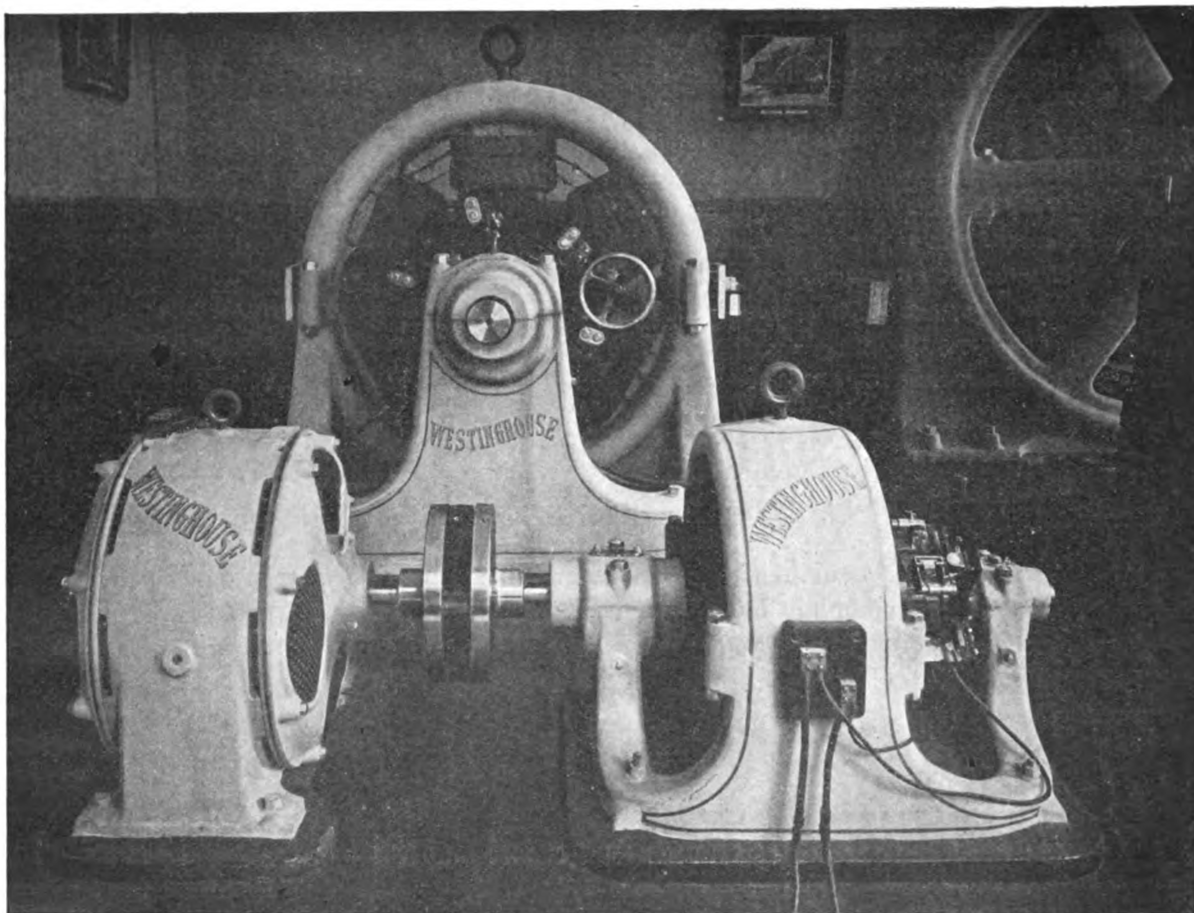


Fig. 63. — Transformateur tournant pour l'excitation séparée.

64 *ter*). La génératrice, d'une puissance de 30 kilowatts, était à excitation en dérivation, et produisait 54,6 ampères sous 550 volts.

Transformateurs statiques (fig. 65 et 65 *bis*. — Puissance : 170 kw.). — Chaque transformateur statique était constitué par un transformateur de tension immergé dans un bain d'huile contenu lui-même dans une caisse formée de parois en tôle de fer maintenues par une armature extérieure en fers cornières.

Le transformateur de tension était du type cuirassé, à circuit magnétique double. Les enroulements primaires et secondaires se trouvaient chacun répartis en un certain nombre de bobines plates, chaque bobine étant elle-même subdivisée en un grand nombre de couches formées chacune de quelques tours de fil; de plus, les bobines étaient toutes isolées séparément; enfin ces bobines étaient disposées les unes contre les autres, chaque bobine

secondaire se trouvant comprise entre deux bobines primaires (ce genre de construction est représenté sur la figure 66). Et ce genre d'enroulement avait été réalisé de manière à satisfaire aux conditions suivantes :

1° Ne soumettre les différents isolants qu'à des différences de potentiels très réduites ;

2° Présenter une grande surface de refroidissement;

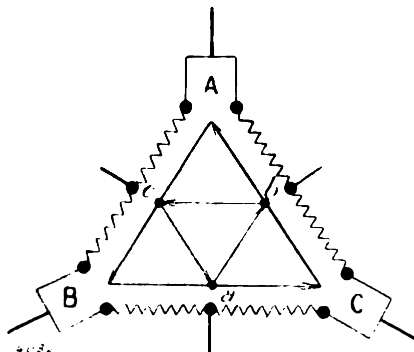


Fig. 61.

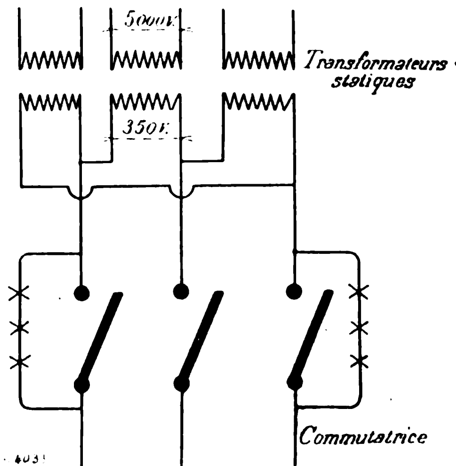
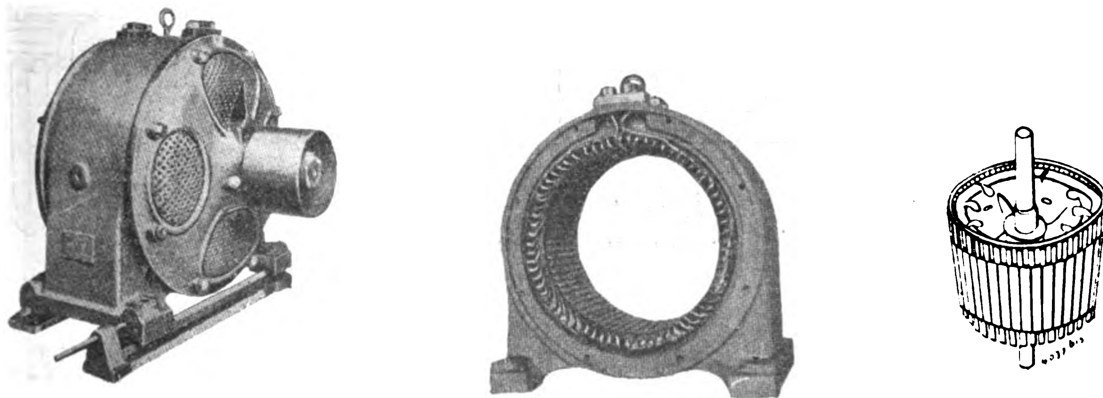


Fig. 62.

3° Permettre de faire varier le rapport de transformation en modifiant le groupement des bobines élémentaires entre elles;

4° Réduire la dispersion le plus possible.

Une plaque de marbre portait les bornes de l'enroulement primaire, une autre plaque de marbre portait les bornes de l'enroulement secondaire, et ces deux plaques se trouvaient respectivement de part et d'autre du transformateur de tension. Les conducteurs extérieurs aboutissaient à ces bornes après avoir traversé des manchons isolants par lesquels ils pénétraient à l'intérieur de la caisse en tôle.


Fig. 64 à 64 *ter*. — Moteur du transformateur pour l'excitation séparée.

Le refroidissement de l'appareil se faisait spontanément : l'huile, d'une conductibilité calorifique relativement bonne, transmettait la chaleur du transformateur de tension à la caisse en tôle, et cette caisse se refroidissait au contact de l'air avec une grande facilité, étant donnée la surface très étendue que ses parois verticales, fortement ondulées, offraient à la convection.

Le bain d'huile avait aussi pour fonction de garantir l'isolement du transformateur qui y était immergé.

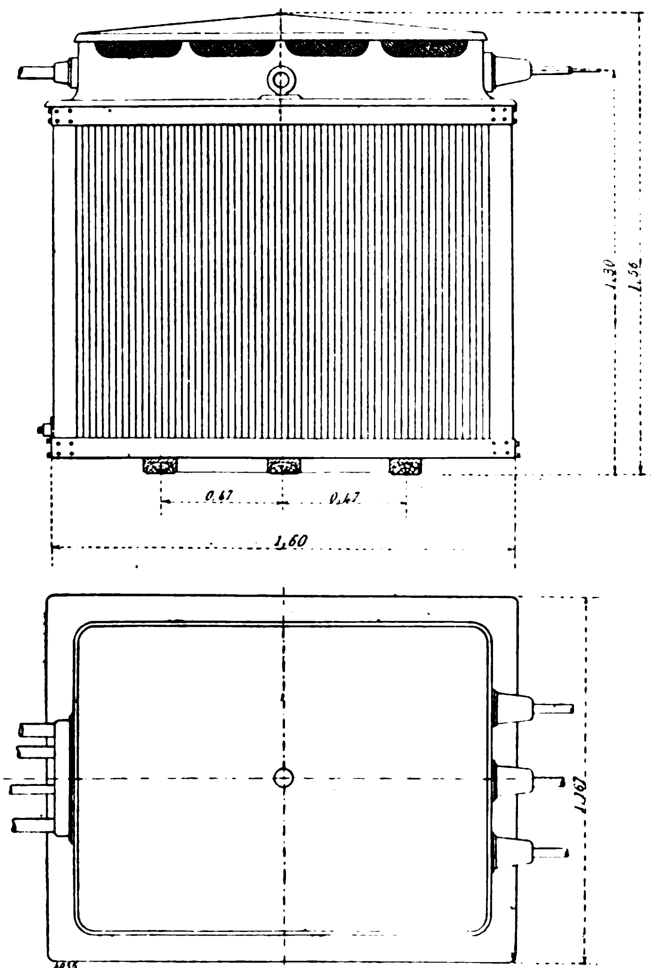


Fig. 65. — Transformateur statique.

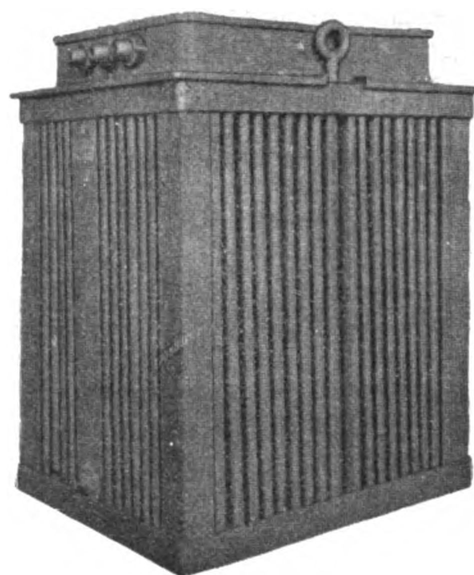


Fig. 65 *bis*. — Transformateur statique.

Les transformateurs qui servaient à alimenter les commutatrices répondaient chacun aux données suivantes :

1° Rapport de transformation $= \frac{5\,000}{360}$.

2° Fréquence des courants = 25 périodes par seconde.

3° Capacité normale = 170 kilowatts.

4° Rendement = 96,6 p. 100 avec une surcharge de 25 p. 100,
96,7 p. 100 à pleine charge,
96,5 p. 100 à 3/4 de charge,
96 p. 100 à 1/2 charge,
93,3 p. 100 à 1/4 de charge.

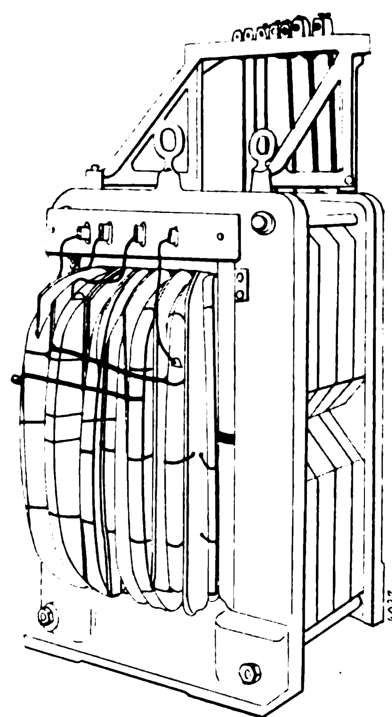


Fig. 66. — Transformateur statique.

5° Chute de tension dans le passage de la marche à vide à la marche à pleine charge :

Charge non inductive : 2 p. 100;

Charge avec facteur de puissance = 0,8 : 5,5 p. 100.

6° Excès de la température de l'appareil sur la température ambiante :

45° C. pour une marche à pleine charge pendant vingt-quatre heures,

60° C. pour une marche avec surcharge de 25 p. 100 pendant vingt-quatre heures,

60° C. pour une marche avec surcharge de 50 p. 100 pendant une heure.

7° Résistance des isolements = entre le primaire et le secondaire, et entre le primaire et la masse : 52 000 volts instantanés;

entre le secondaire et la masse : 6 000 volts instantanés.

Enfin, les poids des différents éléments du transformateur de 170 kilowatts étaient les suivants :

Transformateur de tension	1 134 kg.
Caisse	907 »
Huile (1 105 litres)	771 »
Total	2 812 kg.

(*A suivre*). H. Tripier.

NOTES
SUR LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL EN ALLEMAGNE (1)

II. — Expériences de M. Braun

La première idée fondamentale des expériences de M. Braun et des dispositifs de télégraphie sans fil qu'il a préconisés et installés est l'adjonction de condensateurs, en plus ou moins grand nombre, dans le circuit vibratoire.

La bobine d'induction employée charge les condensateurs, et c'est l'étincelle de décharge de la batterie entre les boules de l'oscillateur qui produit les oscillations électriques transmises à l'antenne.

Dans les premiers dispositifs de Marconi et dans ceux que nous avons indiqués de M. Slaby, au moins dans les premiers et les plus simples, l'ébranlement électrique est donné à l'antenne par des oscillations très rapides dont la longueur d'onde est très courte.

Avec les condensateurs, au contraire, on obtient encore une décharge oscillante, mais avec des oscillations beaucoup moins rapides correspondant à des longueurs d'onde notablement plus longues.

C'est en cela surtout que M. Braun tient à différencier ses méthodes des autres : emploi de grandes longueurs d'ondes au lieu de très courtes.

Selon l'auteur, la première disposition Marconi avec oscillateur réuni directement à l'antenne d'un côté, à la terre de l'autre, présente les inconvénients suivants (2) :

« On ne peut pas pratiquement augmenter l'effet utile par l'accroissement du potentiel, c'est-à-dire par la longueur d'étincelle, au-delà d'une valeur limite bientôt atteinte. L'étincelle n'est plus alors active. Toute l'énergie produite en plus est inutilisée pour la transmission ; il est probable qu'elle se dissipe en chaleur dans l'étincelle.

» On ne peut pas réaliser une capacité importante du conducteur aérien s'il reste ouvert.

» On n'a d'autre moyen pour augmenter les effets à distance que d'élever l'antenne, et dans cette voie, on est assez vite limité.

» L'antenne est chargée à haut potentiel. En dehors du danger que cela peut présenter, une isolation très parfaite est nécessaire si l'on ne veut pas voir à chaque instant l'antenne déchargée, et des ratés se produire dans la transmission.

» Les oscillations sont très fortement amorties à travers l'étincelle, circonstance gênante pour les effets de résonance et très défavorable pour l'obtention de la syntonie. Comme on le sait, on

(1) Voir *L'Eclairage Electrique*, t. XXX, p. 121, 25 janv. 1902.

(2) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 21 mars 1901.

****

n'observe réellement dans ces conditions que la vibration propre du résonateur, excitée par les premières impulsions de l'émission. »

D'après M. Braun, ces inconvénients sont inhérents à toute disposition dans laquelle on produit des étincelles avec de faibles capacités, et ils peuvent être évités en partie si on alimente le transmetteur avec de grandes capacités suivant des dispositions indiquées plus loin ; ces dispositions comportent toujours l'excitation directe de l'antenne, l'étincelle étant sur le chemin du fil qui conduit les vibrations.

Mais M. Braun préconise un autre mode d'excitation qui, selon lui, est bien supérieur à l'excitation directe.

Les oscillations sont transmises à l'antenne, non pas directement par l'étincelle, mais par induction.

L'antenne est prolongée à la partie inférieure par le secondaire d'un transformateur spécial dont le primaire est parcouru par les oscillations électriques de la décharge.

La figure 1 représente le schéma de cette disposition :

De cette manière, les inconvénients signalés ci-dessus disparaîtraient complètement et M. Braun donne pour ce montage les avantages suivants :

1° De très grandes quantités peuvent être employées dans le circuit primaire et avoir un effet utile ; si l'on accroît l'énergie primaire employée, l'effet utile s'accroît dans des proportions beaucoup plus larges qu'avec la disposition Marconi.

A l'appui de cette affirmation, l'auteur donne le tableau suivant :

COURANT DANS LA BOBINE en ampères	ÉNERGIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE RELATIVE	
	Montage Marconi	Excitation inductive
2	8	26
2 1/2 — 3	10	40
4	10	55
6	10	62

sans dire toutefois par quels moyens sont obtenues les évaluations numériques ci-dessus ; probablement par la portée limite des transmissions obtenues dans chaque cas.

2° Les oscillations de l'antenne ont, comme l'ont montré les expériences de Tesla, une action physiologique à peine sensible ; on peut toucher directement cette antenne sans inconvénients, de même qu'on peut en tirer des étincelles.

3° Des soins beaucoup moindres peuvent être apportés à l'isolation de l'antenne ; les oscillations dans le circuit primaire ne sont généralement pas influencées par une isolation défectueuse de l'antenne : les ratés signalés plus haut deviennent impossibles.

4° Les oscillations des circuits, primaire et secondaire, sont faiblement amorties et peuvent être réglées très bien de façon à accroître considérablement l'amplitude vibratoire dans l'antenne, par la résonance obtenue dans les deux circuits ; on a ainsi une très bonne utilisation de l'énergie primaire. L'un des circuits comprend les condensateurs, l'étincelle, le primaire du transformateur ; l'autre circuit vibratoire est formé par l'antenne et le secondaire du transformateur. Il faut chercher à rendre la résonance, entre les deux, la plus prononcée possible en déterminant convenablement le nombre et la grandeur des condensateurs, ainsi que les enroulements du transformateur d'excitation. Une fois les dimensions électriques trouvées pour des hauteurs et des formes d'antennes différentes, elles seront toujours facilement reproduites.

5° Enfin les vibrations de grande longueur d'onde, faiblement amorties, dont l'antenne est le siège et qui sont transmises à l'espace, remplissent les conditions fondamentales nécessaires pour obtenir un accord électrique satisfaisant entre un transmetteur et un récepteur donnés. Le problème de la syntonie peut ainsi être résolu beaucoup plus facilement.

Nous pouvons donner maintenant les schémas de quelques dispositions employées par Braun en utilisant la décharge des condensateurs, soit directement, soit par induction [1].

1. *Excitation directe de l'antenne.* — La figure 2 représente schématiquement une de ces dispositions. Si la bobine de self S n'était pas fixée en A, mais en un autre point, par exemple, pour prendre le cas extrême, à l'extrémité supérieure B de l'antenne, on retombe sur une disposition décrite par Slaby dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 10 janvier 1901 (fig. 3).

M. Braun estime que son montage est tout autre, comme principe, que le montage analogue de Slaby et lui est supérieur théoriquement et pratiquement. Dans l'analyse des expériences de M. Slaby, nous n'avons pas fait allusion au montage du transmetteur fait suivant le schéma de la

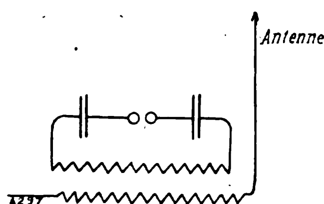


Fig. 1.

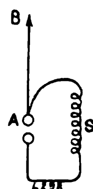


Fig. 2.

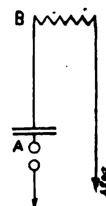


Fig. 3.

figure 3 précisément parce que M. Slaby semble y avoir renoncé et emploie maintenant un montage tout différent que nous avons d'ailleurs indiqué.

M. Braun admet également que le mouvement vibratoire de l'antenne peut être influencé par l'adjonction de plaques de capacités quelconques, seules ou combinées avec des selfs qui terminent l'antenne en B.

Il est à remarquer que le montage de la figure 2 ne montre pas de liaision directe avec la terre du circuit oscillant.

Un point de ce circuit peut aussi être mis à la terre directement ou par une étincelle. C'est

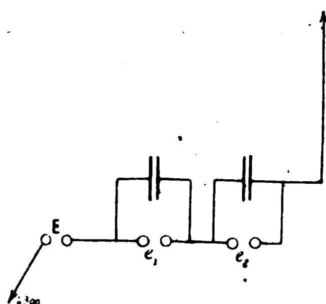


Fig. 4.

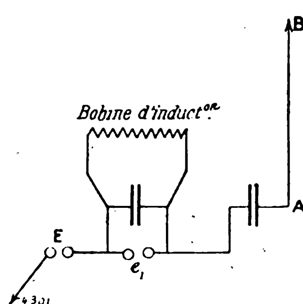


Fig. 5.

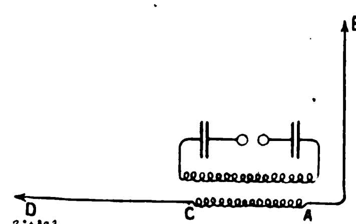


Fig. 6.

ce qui a lieu en particulier pour des combinaisons de condensateurs représentées par les figures 4 et 5.

Dans tous les cas, même avec l'excitation directe de l'antenne, pour avoir le meilleur effet, il faut chercher à obtenir la résonance de l'antenne elle-même et du circuit oscillant.

2. *Excitation par induction.* — Habituellement, une des extrémités de l'antenne est isolée complètement de la terre. D'après M. Braun, la bobine du transmetteur dans laquelle les ondes sont excitées ne doit pas nécessairement être à la terre. D'ailleurs, au lieu d'être à une extrémité, elle peut être reportée plus ou moins près du milieu et partager le circuit transmetteur en deux parties égales (fig. 6). L'auteur ne donne pas d'indications sur les meilleures positions relatives des deux moitiés AB, CD.

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 6 juin 1901 : Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft.

Les extrémités du transmetteur peuvent encore être reliées à la terre par l'intermédiaire d'une self-induction, d'une capacité convenable, d'une combinaison des deux, d'une résistance ohmique ou encore d'une étincelle.

La figure 7 représente une forme usitée dans la pratique ; γ est une étincelle mise à la terre ; elle jaillit à une distance explosive maxima ; cette étincelle peut également être reportée en *a*.

On peut également prendre la disposition de la figure 8 qui, à son tour, peut être modifiée ou combinée avec beaucoup d'autres.

Un point du circuit primaire lui-même peut être mis à la terre directement ou indirectement.

Nous n'insisterons pas d'avantage sur les nombreuses formes que M. Braun donne à ses dispositifs de transmission ; d'ailleurs, *L'Éclairage Électrique*, dans le numéro du 2 février 1901, en a

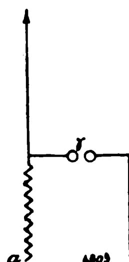


Fig. 7.



Fig. 8.

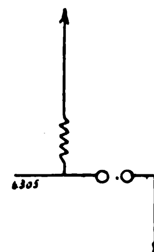


Fig. 9.

décrit un certain nombre, et elles dérivent toutes du même principe : emploi de condensateurs, et pour le plus grand nombre, excitation de l'antenne par induction. Dans tous les cas, comme nous l'avons déjà dit, il faut dimensionner les circuits de façon à satisfaire le mieux possible aux conditions de résonance.

3. En ce qui concerne l'antenne elle-même, sa forme et sa vibration propre peuvent être changées de différentes façons : antennes multiples, réseaux, bobines ou capacités supplémentaires. En particulier, de grandes hauteurs d'antenne ont souvent été changées avec succès en de plus petites, lorsque la longueur de fil supprimé était ajoutée sous forme de bobine.

D'autre part, la place de ces bobines ajoutées n'est pas indifférente. D'après l'auteur, une bobine mise à l'extrémité peut, dans certains cas, donner des ondes beaucoup plus pures comme vibration. Une bobine placée à l'extrémité inférieure, comme l'indique la figure 9, est cause que les vibrations sont moins fortement amorties.

M. Braun donne encore beaucoup d'autres détails d'expériences et des variantes des dispositifs de transmission, mais dont l'énumération n'offrirait qu'un intérêt secondaire, au point de vue plus général où nous nous plaçons.

Récepteur. — M. Braun, dans ses descriptions, laisse complètement de côté le récepteur. Il s'est occupé également du problème de la syntonie. L'emploi de condensateurs et d'ondes longues et faiblement amorties sont, comme nous l'avons dit, d'excellentes conditions, d'après lui, pour résoudre le problème. Avec ces ondes seulement, on a des chances d'obtenir une résonance convenable. Une onde courte et amortie excite toujours un résonateur quelconque par la première impulsion électrique qu'il reçoit et le porte à son état de vibration propre ; de même que le choc d'un marteau fait vibrer un diapason quelconque qui rend le son fondamental, mais très faiblement. Si, au lieu de recevoir un seul choc, mécanique ou électrique, le résonateur est soumis à une suite ininterrompue d'impulsions concordantes avec sa vibration propre, on arrive à une résonance très prononcée.

Dans des expériences relatées, un tube de Geissler s'illuminait brillamment à grande distance, dans un circuit excité par des décharges de bouteilles, aussitôt que le circuit était enroulé ; beau-

coup plus faiblement dès que l'accord était modifié. Si on remplace le tube par un cohéreur, on voit ainsi la possibilité de réaliser une télégraphie syntone.

La disposition du transmetteur indiquée par M. Braun permet, d'après lui, de rendre la plus grande possible l'énergie rayonnée et utilisable. Les dispositions du récepteur, sur lesquels il ne donne d'ailleurs aucun détail, lui permettent de concentrer l'énergie disponible qui atteint le lieu de réception, exclusivement sur l'appareil récepteur, de façon à être utilisée uniquement par lui.

On peut, dit M. Braun « transformer l'énergie reçue en la forme la plus favorable pour le cohéreur, et mettre celui-ci à la place la plus convenable pour qu'il ne puisse se soustraire à son action. Des modifications très peu importantes de l'accord diminuent immédiatement d'une façon extraordinaire l'énergie concentrée dans les appareils récepteurs ».

M. Braun dit avoir résolu aussi le problème de la télégraphie multiplex, c'est-à-dire la réception simultanée de plusieurs dépêches qui utilisent des longueurs d'onde différentes, au moyen d'une même antenne réceptrice, et cela « d'une manière nouvelle et très parfaite. »

Résultats d'essais. — Dans ses premiers essais, M. Braun a eu surtout en vue de prouver que les dispositions qu'il préconisait étaient supérieures à celles employées au début par Marconi.

Pour cela, une série d'essais comparatifs furent exécutés d'abord en 1898, à Strasbourg, puis, pendant l'été 1899, à Cuxhaven, et plus tard, jusqu'à l'automne 1900, en différents postes situés à l'embouchure de l'Elbe, communiquant soit entre eux, soit avec l'île de Helgoland.

Les expérimentateurs rencontrèrent beaucoup de difficultés pour installer ces postes, à cause du manque de communications pour le réglage et du mauvais temps presque continuel. Les postes des bateaux-feux surtout furent très longs à établir.

Malgré tout, des expériences intéressantes purent être faites dès la fin de 1899, non seulement entre les stations du continent et Helgoland ; mais on correspondit également très bien avec des bateaux naviguant dans la mer du Nord.

Pendant l'hiver 1899-1900, entre un poste à terre ayant une antenne de 29 m, et le vapeur « Silvana », qui avait une antenne de 15 m seulement au-dessus du pont, des télégrammes sans fautes furent reçus régulièrement à 32 km et, à 50 km, on recevait encore des signes.

Des essais de Marconi, exécutés au printemps de la même année par la marine de guerre américaine, et, relativement aux hauteurs de mâtures, dans des conditions presque identiques, donnèrent des télégrammes à 14 km seulement.

Ces différents essais, dit M. Braun, prouvaient bien que les désavantages de petites hauteurs d'antennes peuvent être compensés par une émission d'énergie plus grande (obtenue par le montage avec condensateurs et excitation inductive).

En septembre 1900, d'autres essais furent encore entrepris entre Helgoland et le continent, comparativement avec la disposition Marconi — il faut bien remarquer que c'est toujours de la première qu'il s'agit : oscillateur à deux boules, excité par une bobine d'induction, une boule à l'antenne, l'autre à la terre. — Les hauteurs de mâts étaient 29 m et 31 m et la distance des postes, de 62 km. Les conditions étant exactement les mêmes (cohéreur, hauteur de mâts, bobine, nombre d'accumulateurs), sur 450 signes, avec la transmission Marconi, aucun n'était observé à la station réceptrice, tandis qu'avec l'excitation inductive, pas un seul n'était omis.

Le tableau suivant résume quelques-uns des essais faits par les deux méthodes.

		DISTANCE ATTEINTE en km.	HAUTEURS DE MATS m.	HAUTEURS DE MATS m.
Méthode de la charge par induction	« Silvana »-Kugelbake	32	15	29
	Elbe I-Kugelbake	32	30	29
	Helgoland-Kugelbake	63	31	29
Transmetteur Marconi	Borkum-Bat. feu de Borkum	32	40	38
	Marine de guerre des Etats-Unis	13,5	13,5	39

M. Braun conclut naturellement que ce tableau montre la supériorité incontestable de la disposition transmettrice décrite et cela, d'autant plus que le récepteur de Marconi était de beaucoup plus sensible.

Dans les résultats d'essais publiés, il n'est nullement question de syntonie ou de télégraphie multiple par une même antenne, quoique M. Braun, ainsi que nous l'avons dit, prétend être arrivé sous ce rapport à des résultats très satisfaisants.

CONCLUSIONS

Les expériences de M. Slaby et de M. Braun sont également intéressantes ; elles nous montrent bien que par une étude complète et méthodique des multiples conditions du problème de la télégraphie sans fil, on peut espérer arriver à un agencement d'appareils qui donnera le maximum d'effets, au double point de vue de la portée et de la sécurité des transmissions.

M. Slaby a eu surtout en vue l'installation du poste récepteur, et s'est posé le problème de la syntonie en recherchant un accord des postes purement électrique, et en admettant qu'il arrive au poste récepteur des ondes de longueur bien déterminée, longueur pouvant d'ailleurs être variée à volonté lorsqu'on agit sur le transmetteur. Il a voulu chercher un dispositif qui répondît le plus complètement possible à ces ondes déterminées, et à celles-là seulement, autant que possible. Les expériences prouvent qu'il est déjà arrivé dans cette voie à un résultat des plus satisfaisants.

Les hypothèses qui sont à la base de sa théorie ne sont peut-être pas absolument exactes, et cette théorie présente encore des lacunes, même aux points les plus délicats qui restent les plus obscurs. Elle a quand même le mérite d'indiquer une voie de recherches, de donner une marche générale à suivre pour installer les postes, laissant en dernier lieu à l'expérience le soin d'arriver au réglage le plus parfait possible par des tâtonnements forcément encore très longs. La théorie est beaucoup trop vague et mal établie pour qu'on puisse lui demander *a priori* un agencement qui ne nécessiterait pas de nombreuses retouches. D'ailleurs, une théorie même exacte ne dispenserait pas de ces tâtonnements, car elle reposerait nécessairement sur des faits relativement simples tels qu'on ne saurait en trouver dans la pratique, où l'on se heurte fatalement à une multitude d'effets perturbateurs.

Les expériences de M. Braun, au moins celles qu'il a publiées, visent particulièrement l'installation du transmetteur. Ce physicien revendique la priorité de l'emploi, pour la télégraphie sans fil, de grandes longueurs d'onde et d'une grande quantité d'énergie mise en jeu par l'emploi des condensateurs.

Il recommande également avec juste raison, pour éviter l'amortissement qui se produit forcément dans l'étincelle, la production par induction des oscillations dans l'antenne. Les raisons qu'il donne en faveur de ces méthodes sont également très admissibles. Il semble bien, d'après ce qui a été publié de ses essais, que, toutes les autres conditions restant les mêmes, les dispositions de Braun sont beaucoup plus efficaces que les dernières de Marconi.

Enfin, pour terminer cette analyse déjà trop longue, nous ne pouvons nous empêcher de faire observer que, de son côté, Marconi a beaucoup modifié et perfectionné ses premières installations, et que ses dispositions les plus récentes, par exemple celles employées pour la communication entre Biot et Calvi [1] au printemps de cette année, sont complètement différentes des premières.

Au transmetteur, nous y voyons maintenant l'emploi de condensateurs, tel que le recommande Braun, l'excitation de l'antenne par induction, au moyen d'un petit transformateur auquel on donne le nom de jigger de transmission.

Au récepteur, il est plus que probable que le réglage a porté sur les longueurs des enroulements des transformateurs employés et sur les conditions de résonance à remplir par les circuits primaire et secondaire. Dans le primaire du jigger, on reconnaît l'enroulement auxiliaire de Slaby qui est en relation avec les longueurs d'onde employées ; le secondaire est en relation également avec ces longueurs, si l'on veut obtenir la résonance des deux circuits.

---

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 93, 20 juillet 1901.

Nous avons dit, en parlant des essais de Slaby que le multiplicateur n'était autre qu'un résonateur genre Oudin ; mais le jigger actuel de Marconi n'est autre également, ainsi que le remarque M. Blondel, que l'analogue des résonateurs bipolaires d'Arsonval.

Marconi emploie donc maintenant des dispositifs où l'on utilise les effets d'appareils connus depuis plusieurs années, notamment en France, et où l'on retrouve en outre les principes exposés dans les expériences des physiciens allemands. Comme il obtient des résultats incontestablement très remarquables, on doit en conclure une fois de plus que ces principes ont de la valeur, et c'est ce qui nous a engagé à en parler ici avec quelques détails.

En faisant ces dernières remarques sur les expériences de Marconi, nous ne songeons d'ailleurs nullement à dire que le savant expérimentateur s'est inspiré, pour réaliser ses appareils, des idées d'autres physiciens ; il est fort possible qu'il les ait eues en même temps et que ses installations lui soient complètement personnelles. Dans toutes ces questions neuves et brûlantes, pleines d'actualité, où les théories et les expériences de laboratoire prennent corps et se transforment peu à peu en exploitations industrielles, il est bien difficile, sinon impossible, de trancher les questions de priorité, quelles qu'elles soient (1).

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Moteur à essence Letombe à grande vitesse.

Revue industrielle, XXXIIe année, p. 504, 21 déc. 1901.

Ce moteur présente cette particularité que, bien qu'utilisant du cycle à quatre temps et n'ayant qu'une seule manivelle, il y a deux coups de piston moteur par tour de manivelle. Il en résulte une meilleure régularité de marche et cette qualité, jointe à sa grande vitesse angulaire, pourrait permettre de l'appliquer utilement à la construction de petits groupes électrogènes ; c'est ce qui nous engage à en donner une description succinte :

Il comporte deux pistons A_1 A_2 (fig. 1) dans le prolongement l'un de l'autre. Le piston A_2 travaille par sa face supérieure et le piston A_1 par sa face annulaire et dans le même sens que A_2. La bielle C est attelée sur le piston A_2 pour diminuer l'encombrement.

Chaque face de piston est alimentée par des organes de distribution séparés et complètement indépendants. Le cycle est à quatre temps pour chacune d'elles ; de sorte qu'en croisant les phases de la distribution, on obtient bien sur l'arbre à manivelle une explosion par tour.

Les soupapes d'aspiration G_1 et G_2 sont automatiques. La commande des soupapes d'échappement E_1, E_2 se fait par l'intermédiaire des tiges T_1, T_2 (rappelées par des ressorts comme

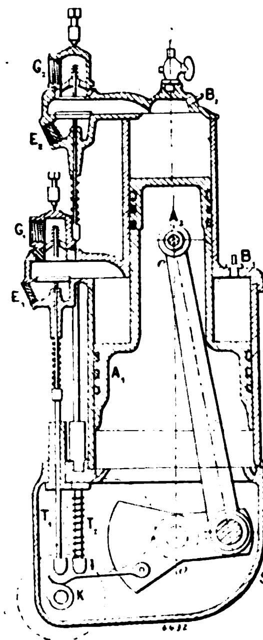


Fig. 1. — Coupe par l'axe du cylindre.

des tiges de soupapes) sur lesquelles agissent des leviers L_1 L_2 qui reçoivent l'action des cames calées sur l'arbre de distribution K, faisant

(1) Dans le précédent article, p. 133, ligne 6, lire *facilement* au lieu de *faiblement*.

deux fois moins de tours que l'arbre moteur.

Toute la distribution est renfermée dans le carter S de l'arbre moteur. De l'huile versée dans ce carter suffit pour la lubrification de tous les organes. Le piston A_2 est graissé sous pression par un orifice percé dans la paroi du cylindre.

Le réglage adopté permet de marcher soit avec l'un des pistons seul, soit avec les deux. La surface du piston A_1 étant un peu plus grande que celle de A_2, on dispose ainsi de trois forces différentes : celle donnée par le piston A_1 seul ou A_2 seul, ou A_1 et A_2 marchant ensemble.

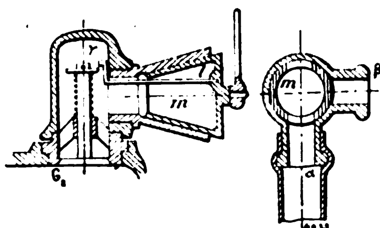


Fig. 2 et 3. — Admission du mélange carburé.

Les figures 2 et 3 représentent le mécanisme d'arrivée d'air et de gaz à l'une des soupapes d'admission.

Le robinet *m* placé près de la soupape d'admission G_2 commande deux orifices : l'un α par où arrive le gaz ou l'air carburé, et l'autre β par où arrive l'air.

La figure 3 montre qu'en manœuvrant convenablement le robinet on ferme l'arrivée de gaz en même temps que la section d'air augmente. En opérant ainsi, la dépression à l'aspiration diminue en même temps que la quantité de gaz admis diminue également. Il en résulte une surcompression de la charge quand on demande moins de force au moteur. Pour arrêter complètement un côté, il suffit de continuer à tourner le robinet *m* jusqu'à ce que l'arrivée de gaz soit complètement fermée. A ce moment, l'arrivée d'air est, au contraire, ouverte en grand. Dans ce dernier mouvement, la tige *l*, solidaire du robinet *m*, peut, par son crochet γ, maintenir la soupape d'aspiration ouverte.

Les allumages se font par les inflammateurs électriques B_1 B_2. Une seule bobine suffit.

Le commutateur en ébonite (fig. 4), monté sur l'arbre K, reçoit en *c* le courant induit qui est distribué alternativement aux bornes B'_1 et B'_2 en relation avec les bougies B_1 et B_2. La distribution se fait par les ressorts R_1 et R_2 conduits par une came D en matière isolante calée sur l'arbre K.

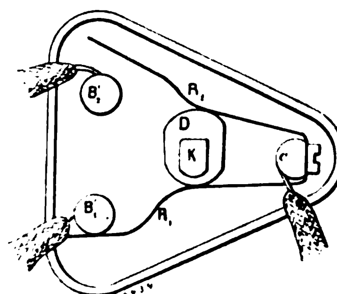


Fig. 4. — Commutateur d'allumage.

Le courant inducteur est lancé dans la bobine à chaque allumage par le distributeur (fig. 5) monté sur l'arbre moteur O.

Le courant se ferme sur les bornes D et E

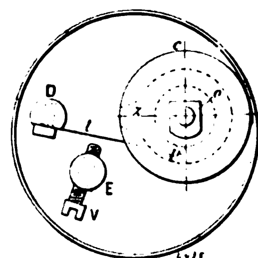


Fig. 5. — Distributeur électrique.

par l'intermédiaire du ressort *t* et de la vis V. Le ressort porte un appendice *p* qui, relevé par une came creuse *c*, ne donne le contact qu'au moment où l'appendice passe devant l'encoche *z*.

Ce distributeur peut être décalé en marche.

La carburation est faite par un carburateur mixte à pulvérisation et niveau constant, mais qui agit également par surface, parce que le jet d'essence est lancé sur une matière poreuse qui s'imprègne du liquide en excès. Cette partie poreuse, placée dans le courant d'air aspiré, contribue alors à compléter la carburation à la façon d'un carburateur à surface dont le niveau serait immoblile.

Le carburateur a autant de jets séparés qu'il y a de surfaces de piston en travail. J. R.

Pile thermoélectrique Bénier. — Brevet français n° 305049 du 3 novembre 1900. — Brevet anglais n° 8985 du 1er mai 1901. — *Centrablatt f Accumulatoren und Elementenkunde*, t. II, p. 284, 1er novembre 1901.

La figure 2 donne une vue en plan ; la figure 1,

une coupe verticale suivant la ligne AB de la figure 2. Les figures 3, 4 et 5 sont des coupes transversales d'après les lignes CD, EF et GH.

L'élément est constitué par une série de plaques pressées les unes contre les autres : 1° une plaque *a* en métal usuel quelconque, bon conducteur de la chaleur et de l'électricité (cuivre, fonte, aluminium, etc.), chauffée de façon à avoir sur ses deux faces la même température ; 2° une plaque *b* établie dans les mêmes conditions que *a*, mais refroidie ; 3° une plaque *c* formée par un des corps (le positif par exemple) du couple ; 4° une plaque *d* constituant le négatif du couple. Ces diverses plaques sont disposées dans l'ordre suivant : une plaque chaude *a*, une plaque *c*, une plaque froide *b*, une plaque *d*, une plaque chaude *a* et ainsi de suite.

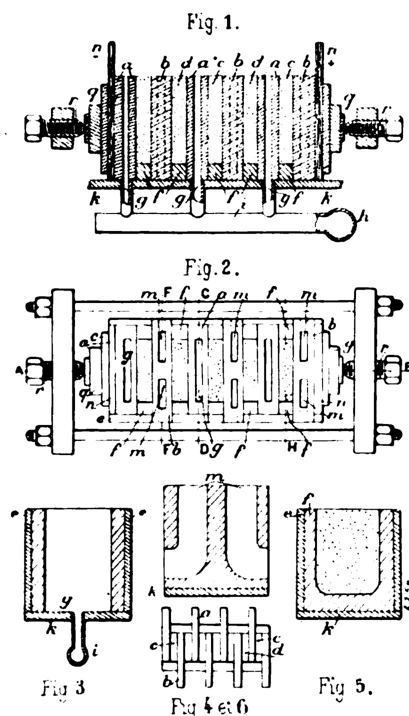


Fig. 1 à 6. — Pile thermoélectrique Bénier.

Dans ces conditions, les plaques *a* et *b* ne jouent aucun rôle pour la production de la force électromotrice car leurs deux points de jonction sont à la même température. Elle n'interviennent que comme conducteurs de la chaleur et de l'électricité et sont appelées plaques conductrices.

Les plaques *c* et *d*, au contraire, appelées plaques génératrices, ont une face froide et une chaude et forment le couple. Si les plaques *c* sont en antimoine et les plaques *d* en bismuth, le courant va de *c* en *d* à travers les plaques *a* et de *d* en *c* à travers les plaques *b*.

L'importance économique du système est la suivante : les plaques génératrices sont chauffées seulement sur leur surface de contact, seul point intéressant pour la force électromotrice.

En isolant les substances génératrices sur leurs autres faces (par une couche isolante *e*) on ne refroidit ces plaques qu'au seul point utile, la surface de contact. On peut réduire ainsi la perte par conductibilité dans la proportion qu'on veut en donnant à *c* et *d* l'épaisseur convenable, variant d'ailleurs avec la conductibilité de ces corps.

Cette disposition permet d'employer les corps générateurs *c* et *d* en poudre tassée, beaucoup de corps ne pouvant être employés que sous cette forme.

Les figures montrent la disposition pour les corps *c* et *d* en poudre. Entre les plaques conductrices *a* et *b* est placée une garniture isolante *f* en forme d'U (fig. 5). Dans la cavité ainsi formée, on tasse le corps en poudre (qui peut aussi entrer en fusion si c'est nécessaire).

Pour chauffer les plaques *a*, on fond celles-ci avec un canal *g* par lequel passent les gaz chauds d'un foyer amenés par un conduit central *h* qui les distribue dans les conduits *i* sur lesquels sont placés les éléments, chaque élément reposant sur une couche isolante *k*. Les plaques *b* sont refroidies par un courant d'air froid passant dans des conduits *m*.

Pour les petits éléments, les plaques *a* et *b* peuvent être pleines et découpées dans des barres de métal, les plaques froides faisant saillie d'un côté et les plaques chaudes de l'autre, comme le représente la figure 6.

Chaque élément se termine à chaque extrémité par des plaques *n* et *p* de prise de courant sur lesquelles sont appliquées des plaques isolantes. Contre celles-ci appuient des plaques de caoutchouc *q* faisant ressort pour permettre la dilatation des plaques, ou encore un ressort métallique, le tout étant serré par la vis *r*.

La disposition décrite ici a été étudié spécialement pour des corps générateurs *c* et *d* mauvais conducteurs.

L. J.

Procédé de l'Accumulatoren und Elektricitätswerke Aktiengesellschaft, W. A. Bœse et Cie, pour la fabrication de plaques d'accumulateurs. — Brevet allemand 123 832 du 23 juin 1900. Brevet anglais 4494 du 2 mars 1901. *Centralblatt f. Accumulatoren und Elementenkunde.* Brevet français 308 767 du 6 mars 1901.

On a cherché à agrandir le plus possible la surface des électrodes, et, avec les procédés actuellement connus, un agrandissement plus considérable n'est plus possible. Des électrodes dont les nervures ou les dents actives ne doivent avoir que 0,1 mm d'épaisseur ne peuvent être produites ni par la coulée, ni par la compression, car on ne peut alors les retirer des moules ou des cylindres sans les briser.

Le procédé breveté ici permet d'obtenir ce résultat; il consiste à recouvrir d'une mince couche superficielle des plaques en plomb formées d'une âme centrale de laquelle partent des nervures, et à faire passer ensuite ces plaques entre des cylindres laminant finement les nervures dans leur sens longitudinal respectif.

La mince couche superficielle a pour but de tenir séparées les nervures pendant le laminage et elle se compose de préférence d'un enduit fin de peroxyde, ou d'une couleur très soluble.

On peut employer à cet usage, soit des bandes, soit des plaques de plomb. Dans le cas de plaques, pour que les nervures puissent être laminées finement dans leur sens longitudinal respectif, elles doivent être dirigées obliquement par rapport à l'âme centrale massive; tandis qu'elles sont de préférence perpendiculaires à l'âme dans le cas de l'emploi des bandes.

La figure 1 représente la coupe transversale d'une bande de plomb à nervures, obtenue par coulée ou à la presse hydraulique, ou par tout autre moyen. Les figures 2, 3 et 4 montrent la même bande après 1, 2 et 3 laminages successifs. Le laminoir employé est représenté en figure 5. La figure 6 se rapporte à une électrode composée d'un certain nombre des bandes ci-dessus entourées d'un cadre.

Les figures 7 et 8 montrent l'assemblage des bandes avec le cadre, la première par coulée, la seconde par soudure. Dans la figure 9, on voit une disposition réservant un intervalle entre les bandes pour permettre l'accroissement des nervures oxydées. La figure 10 indique une électrode munie de nervures de renforcement et composée des bandes (fig. 11). La figure 12 est une coupe transversale de cette plaque. Enfin la figure 13 représente une plaque à nervures obliques, obtenue par coulée ou à la presse hydraulique, et les figures 14 et 15, la même plaque après 1 et 2 laminages successifs.

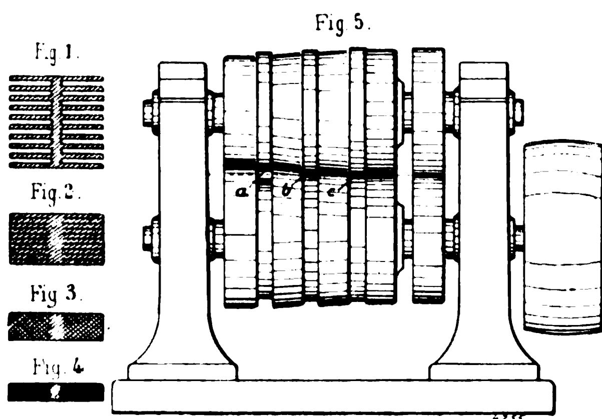
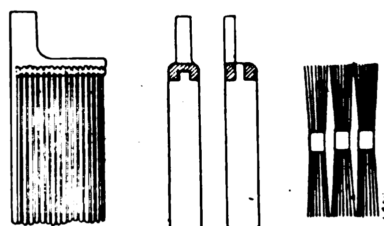


Fig. 1 à 5.

Pour effectuer l'opération, on enduit d'abord les bandes (fig. 1) de peroxyde, puis on les lamine en les faisant passer successivement dans les espaces *a* *b* et *c* du laminoir (fig. 5). Après le passage en *a*, la bande n'a plus que la moitié de son épaisseur primitive; elle n'a plus que le quart, puis le huitième, après le passage en *b*, puis en *c*. La bande 1 a des nervures de 5 mm de longueur, et 0,5 mm d'épaisseur, avec des intervalles de 0,5 mm.


Fig. 6 à 9.

Dans son état initial, la bande a ainsi un développement de surface égal à 11. Après les 3 laminages, ce développement devient par conséquent 22, 44 et 88. Le procédé permet ainsi de laminer à 0,05 mm d'épaisseur les nervures qui présentent la supériorité d'être d'une seule pièce avec l'âme centrale.

Pour assembler les bandes, on les munit d'un bord en queue d'aronde autour duquel on coule du plomb (fig. 7).

Lorsqu'au lieu de bandes, on lamine des plaques, les nervures doivent être obliques, et dès

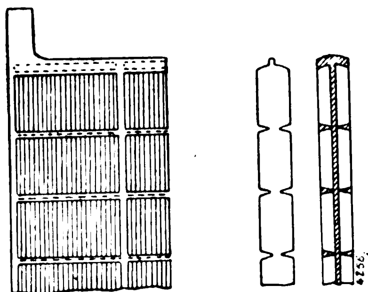


Fig. 10. 11 et 12.

le début, la plaque doit avoir la surface nécessaire par unité de longueur; mais son épaisseur

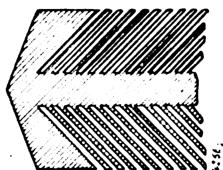


Fig. 13.

doit être telle qu'on puisse laminer les nervures au degré nécessaire. De telles plaques sont

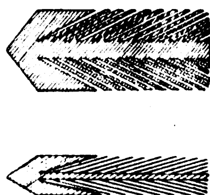


Fig. 14 a 15.

réprésentées par les figures 13 à 16; elles peuvent s'accroître en ce sens que les nervures

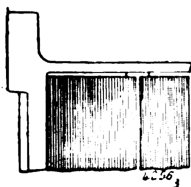


Fig. 16.

finement laminées agrandissent l'angle qu'elles forment avec le plan de la plaque, c'est-à-dire qu'elles se redressent dans une certaine mesure.

Les plaques acquièrent ainsi une épaisseur plus grande, de sorte que la quantité d'électrolyte à l'intérieur de la plaque croît dans les conditions voulues.

Les plaques positives et négatives sont fabriquées de la même manière et d'abord peroxydées; les négatives sont réduites ensuite.

L. J.

Perfectionnements apportés aux batteries d'accumulateurs, par **Apple**. Brevet français, n° 310 964 du 20 mai 1901. — Brevet anglais, n° 10 459, du 20 mai 1901. — *Centralblatt für Accumulatoren-und Elementenkunde*, t. II, p. 286, 1er novembre 1901.

L'inventeur constitue des unités à deux compartiments, de telle sorte que la connexion se fait par le bac; chaque unité donne ainsi 4 volts et le nombre des connexions devient très restreint.

La figure 1 est une coupe par la ligne 1-1 de la figure 2 qui représente elle-même une coupe par la ligne 2-2 de la figure 1.

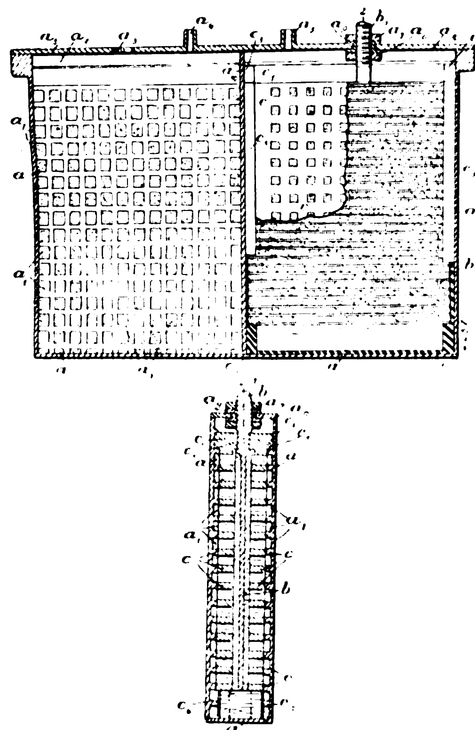


Fig. 1 et 2.

a est une enveloppe en plomb ou alliage de plomb ou d'une autre substance conductrice comprenant deux compartiments séparés par la cloison a_{10} placée entre les deux éléments, ladite

cloison étant de préférence de la même matière que celle de l'enveloppe.

a_1 est une surface en forme de grille ou encore présentant des rugosités pouvant contenir la matière active. Les deux parois de l'élément sont recouvertes de ces grilles. Pour maintenir en place l'électrode, une nervure a_2 à la partie supérieure de l'élément court longitudinalement le long de chaque élément, sur un seul côté.

Le couvercle a_3, de même matière que les bacs, possède une perforation a_8 pour permettre à la queue b_1 de la plaque b de passer pour assurer la connexion. Pour obtenir à cet endroit un joint imperméable aux gaz, des rondelles a_9 s'emboîtent dans les perforations a_8 et autour des queues b_1. Le serrage est obtenu à l'aide des écrous a_6 et a_7.

Dans l'unité à deux éléments représentée ici, on a enlevé dans le compartiment de gauche la plaque b et le séparateur c ; celui-ci est représenté brisé dans le compartiment de droite. c_1 est une nervure à la partie supérieure du séparateur.

Une boîte d'ébonite c_2 repose sur le fond du bac et sous la plaque b ; elle est munie de saillies rainurées verticalement c_3 qui sont placées contre les parois verticales de l'élément, et la plaque b peut venir se loger dans ces rainures.

Quand l'intérieur de l'élément a été disposé et la matière active introduite, on place la boîte isolante c_2 munie des nervures c_3, puis la nervure c_1 du côté où se trouve la côte a_2. La nervure c_1 du séparateur c est chassée sous la saillie a_2 et est ainsi fixée solidement dans le compartiment, puis la plaque b est introduite dans les cannelures des nervures c_3 et poussée vers le bas jusqu'à ce que la nervure c_1, du côté du séparateur c opposé à celui qui vient d'être mentionné, s'engage par dessus le rebord du sommet de la plaque b lorsque le côté de ladite plaque est de niveau avec le côté de sa cloison. On met ensuite en place le séparateur c de l'autre côté de la plaque. Ainsi celle-ci est maintenue sous le rebord du séparateur qui, à son tour est maintenu par la saillie a_2.

Quand les éléments sont ainsi assemblés dans les deux compartiments, on place le couvercle. On fait le joint des queues b_1 par serrage des écrous a_6 et a_7 sur la rondelle isolante a_9 puis on soude ou fixe d'une façon quelconque le couvercle a_3 sur les bacs de façon à les rendre étanches et imperméables aux gaz. Les surfaces internes d'un des compartiments sont positives tandis que l'intérieur du compartiment adjacent est négatif et que les plaques mobiles sont de polarité opposée à celle du compartiment dans lequel elles sont contenues. Pour avoir la plus grande solidité possible, on peut constituer les bacs en plomb dur, le revêtement intérieur étant en plomb doux.

L. Jumau.

Évaluation de la capacité d'une batterie d'accumulateurs dans un calcul d'avant-projet, par **C.-A. Rosander** et **E.-A. Forsberg**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, 25 oct. 1901.

En pratique, le courant de décharge d'une batterie d'accumulateurs est essentiellement variable ; dans le cas, par exemple, où la batterie sert de secours au moment de la pointe, le courant part de zéro pour atteindre un maximum et retomber à zéro. Or, on sait que la capacité dépend du courant de décharge ; et il s'agit de connaître la capacité résultante.

Divisons la décharge en n périodes $t_1 t_2 \ldots t_n$ pendant lesquelles l'intensité conserve les valeurs constantes $i_1 \ldots i_n$, et soient $c_1 \ldots c_n$ les capacités correspondant à ces intensités du courant de décharge.

Au bout du temps $T = \Sigma t$, il aura été consommé une fraction de la capacité égale à $\sum \frac{it}{c} = \varepsilon < 1$.

ε sera $= 1$ si la décharge est complète. Si les périodes t sont infiniment petites, l'égalité ci-dessus devient :

$$\int_0^T \frac{i\,dt}{c} = \varepsilon. \qquad (1)$$

Les auteurs calculent cette intégrale en évaluant $i(t)$ et $c(t)$ au moyen de formules empiriques. On se contentera ici de leur méthode géométrique.

Les données sont : 1° La courbe de décharge $i(t)$ qu'on s'est fixé *a priori*. Soit la courbe ODH tracée à droite de l'axe des i.

2° La courbe des intensités en fonction des capacités $i(c)$ qu'il est facile de construire avec les renseignements des fabricants d'accumulateurs ; soit LL' à gauche de l'axe des i.

Menons Ab à la distance unité parallèlement à Oi.

D'un point quelconque D sur ODH menons la

parallèle à OA ; elle coupe LL' en L. Traçons la droite OL et menons du point d'intersection M avec Ab la parallèle ME à OA jusqu'au point de rencontre E avec l'ordonnée du point D.

On obtient ainsi OEFGH lieu des points tels que E. La surface limitée par cette courbe représente la quantité ε.

En effet : Au temps $t = OQ$, le courant de

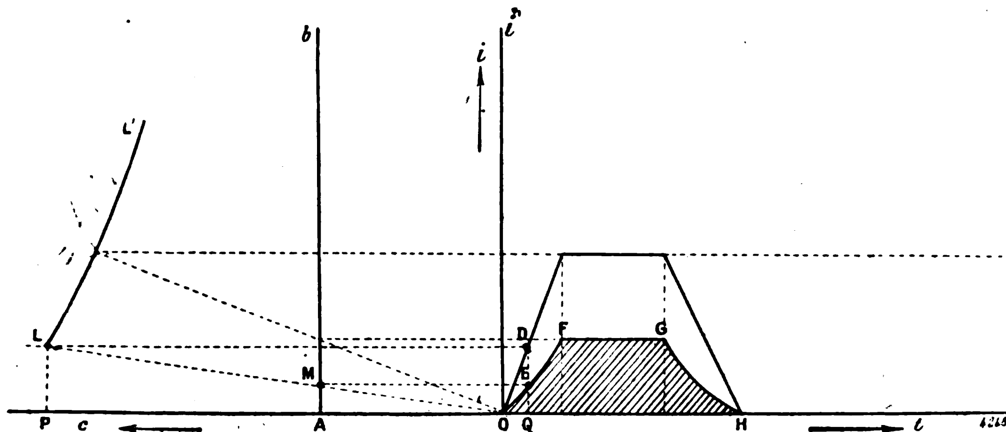


Fig. 1.

décharge est $i = DQ = LP$. La capacité correspondante est $c = OP$ et on a

$$\frac{LP}{AM} = \frac{OP}{OA}$$

c'est-à-dire

$$\frac{i}{AM} = \frac{c}{1} \quad \text{ou} \quad AM = \frac{i}{c} = EQ$$

La surface limitée par le lieu de E est donc mesurée par

$$\int \frac{i}{c}\, dt = S.$$

Il est à remarquer que $\int \frac{i}{c} dt$ ne représentera ε qu'à condition de choisir correctement les échelles. Il faudra, par exemple, que pour les trois directions d'axe OH, OP et Oi, 1 cm représente respectivement 1 heure, 1 ampère-heure et que de plus OA soit = 1 cm.

Les grandeurs de la pratique ne permettront pas en général cette uniformité d'échelles ; si alors 1 cm représente respectivement t_0 heures, i_0 ampère, c_0 ampère-heures, et si OA $= a$ cm, on aura

$$\varepsilon = \frac{1}{a} \frac{i_0 t_0}{C_0} S.$$

Dans le cas de la figure on a $t_0 = \frac{1}{2}$ $i_0 = 10$, $c_0 = 20$, $a = 10$ et $S = 39$; on a donc

$$\varepsilon = \frac{1}{10} \cdot \frac{10}{20} \cdot \frac{1}{2} \cdot 39 = 0{,}985.$$

On en conclut qu'avec la courbe de consommation ODLA la batterie du type choisi est déchargée à 1,5 p. 100 près. C. Battegay.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Ventilateurs et pompes centrifuges pour hautes pressions mus par moteurs électriques, par **Rateau**. *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, t. CI, p. 728-772, décembre 1901.

Dans ce mémoire [1], développement d'une communication faite le 25 octobre dernier devant

[1] Parmi les applications possibles des moteurs électriques à l'industrie métallurgique et l'industrie minière, applications qui se développent chaque jour, la plus importante par la puissance qu'elle exige est la mise en marche des ventilateurs de soufflage ou d'aérage et des pompes d'épuisement. Or, tandis que par la nature même de son mouvement le moteur électrique se prête tout spécialement à la commande des ventilateurs et pompes centrifuges, il se trouve que jusqu'à ces derniers temps ces appareils rotatifs ne paraissaient pas capables de produire les pressions ou hauteurs d'eau exigées dans les installations de hauts fourneaux ou de mines ; il s'en suivait la nécessité d'interposer entre l'arbre du moteur et l'arbre des manivelles des pistons des compresseurs

la Société d'encouragement, l'auteur décrit les ventilateurs et pompes centrifuges de son invention, commandés par turbines à vapeur ou par moteurs électriques, et qui permettent, les premiers d'obtenir des pressions ou dépressions correspondant à 5 et 6 m de dénivellation d'eau, les autres d'élever l'eau à plusieurs centaines de mètres de hauteur, résultats qui n'avaient pas été obtenus jusqu'ici, tout au moins avec d'aussi bons rendements mécaniques ; il fait précéder cette description d'une étude théorique résumée des conditions de fonctionnement de ces appareils, étude qui le conduit à cette conclusion qu'en donnant aux organes mobiles une vitesse angulaire suffisamment élevée il est possible d'obtenir des pressions ou hauteurs d'élévation aussi grandes que l'on veut.

Lorsque la commande est effectuée par turbine à vapeur, la vitesse angulaire de l'arbre du ventilateur ou de la pompe centrifuge a une valeur assez élevée pour qu'on puisse réaliser les conditions ordinairement imposées en n'employant qu'une seule roue d'un diamètre moyen. Si au contraire la commande est faite par moteur électrique, calé sur l'arbre de l'appareil, et c'est pour nos lecteurs le cas qui les intéresse le plus, la vitesse angulaire obtenue, beaucoup plus faible que celle donnée par une turbine, ne permettrait de réaliser la vitesse périphérique nécessaire qu'en donnant à la roue mobile un diamètre considérable auquel ne pourrait correspondre qu'un faible débit et un mauvais rendement. L'augmentation de la vitesse angulaire par trains d'engrenages multiplicateurs entraînant aussi une diminution du rendement, M. Rateau a tourné la difficulté en imaginant des ventilateurs et pompes centrifuges multicellulaires, c'est-à-dire constitués par plusieurs roues conjuguées en tension.

M. Rateau donne la description des pompes multicellulaires construites par les ateliers Sautter, Harlé et C[ie]. Nous nous bornerons à dire que chaque cellule renferme une roue avec une seule ouie centrale et ailettes disposées de part et d'autre du disque, et que les cloisons sont percées de canaux en forme de U, la branche dans laquelle le liquide est refoulée étant munie d'ailettes fixes directrices qui empêchent la production de mouvement tourbillonnaires nuisibles. Un nombre quelconque de cellules (une pour chaque 20 m d'élévation) sont juxtaposées les unes aux autres, toutes les roues étant clavetées sur un même arbre et tournant dans le même sens. Ajoutons que l'équilibrage longitudinal de l'arbre a été tout particulièrement étudié, en vue de réduire sensiblement à zéro la poussée sur le palier de butée qui autrement chaufferait et gripperait. Pour obtenir cet équilibrage chaque roue mobile est munie de joues latérales de diamètres différents : celle qui est du côté de l'ouie s'étend jusqu'au bout des ailettes, tandis que l'autre, qui fait corps avec le moyeu claveté sur l'arbre ne va que jusqu'à un diamètre notablement plus faible que celui des ailes : il en résulte un équilibrage de chaque roue prise isolément. Comme cet équilibrage peut n'être pas parfait, le résidu de poussée qui peut subsister est éliminé en fixant au bout de l'arbre un petit piston se mouvant sans frottement dans un cylindre ; en mettant l'une ou l'autre des extrémités de ce cylindre avec une cellule convenablement choisie de la pompe, on produira sur l'une ou l'autre face du piston une force de pression équilibrant le résidu de poussée latérale ; ce réglage se fait une fois pour toutes à l'usine et n'a besoin d'être refait que si on modifie la hauteur de refoulement pour laquelle la pompe a été primitivement réglée.

Un grand nombre d'essais ont été faits sur plusieurs pompes en vue d'en déterminer le rendement mécanique. Dans chaque essai on relevait : la vitesse de rotation, la hauteur d'aspiration, la pression de refoulement, le débit, la tension et l'intensité du courant alimentant le moteur.

Il résulte du tableau des relevés relatifs à une pompe d'une seule roue élevant 80 m³ à l'heure à une hauteur de 30 m et faisant 2 200 tours par minute que le rendement mécanique de la pompe seule s'élève à plus de 0,55. Une petite pompe à deux roues mobiles de 12 cm de diamètre a également permis d'atteindre un rende-

ou des pompes à mouvement alternatif lent, employés presque exclusivement jusqu'ici, des harnais d'engrenages réducteurs, d'où pertes d'énergie par frottement et complexité des appareils. Aussi croyons-nous utile d'analyser ici, bien que le sujet traité tienne plus à la mécanique qu'à l'électricité, la communication de M. Rateau ; nous n'insisterons d'ailleurs spécialement que sur la partie du mémoire où M. Rateau s'occupe des ventilateurs et pompes commandées par moteurs électriques.

ment de 0,55. Avec une pompe à 5 roues mobiles de 27 cm de diamètre à axe vertical, faisant 1 365 t : m et élevant 108 m³ d'eau à l'heure à 86 m de hauteur, on a pu obtenir un rendement voisin de 0,70 m. Le même chiffre a été fourni par des essais faits sur une pompe à 7 roues, à axe horizontal, commandée par un moteur triphasé à 1 200 t : m et élevant à 120 m de hauteur 75 m³ d'eau à l'heure.

Passant aux applications de ces pompes centrifuges, M. Rateau estime que ces appareils peuvent se substituer avec avantage aux pompes à piston [1] dans beaucoup de circonstances où l'on emploie actuellement celles-ci : notamment comme pompes souterraines dans les mines et

[1] D'une comparaison faite par M. Rateau entre les pompes à piston et les pompes centrifuges, nous détachons le passage suivant :

Si l'on suppose la vitesse constante, ce qui est ordinairement le cas lorsque la machine est conduite par un moteur électrique, on sait que les pompes à piston produisent un débit constant à une hauteur qui peut être quelconque, tandis que les pompes centrifuges donnent une hauteur d'élévation sensiblement constante et un débit variable. Ainsi, par leur essence même, ces machines donnent, la première, un débit constant et une hauteur variable, et l'autre une hauteur constante et un débit variable. Il y a là, pour les pompes, l'opposition bien connue que M. Murgue a fait ressortir depuis longtemps pour les ventilateurs qu'il a appelés volumogènes et déprimogènes.

Or, dans la plupart des applications, la hauteur à produire est constante, tandis qu'au contraire on a besoin généralement de faire varier le débit. A ce point de vue, la pompe centrifuge est mieux adaptée que la pompe à piston. L'on peut, il est vrai, avoir des dispositions qui permettent de modifier le débit d'une pompe à piston ; d'abord en faisant varier la vitesse du moteur, ensuite en donnant au piston de la pompe une course variable.

De même, s'il est nécessaire, l'on peut prendre des dispositions pour faire varier la hauteur d'élévation donnée par une pompe centrifuge. Cela est facile lorsque le moteur est à courant continu, car alors il suffit de modifier la vitesse de rotation, en agissant sur le courant d'excitation au moyen d'un rhéostat ; la hauteur produite étant proportionnelle au carré de la vitesse, on obtient par ce moyen d'assez grandes différences de hauteur avec une variation relativement faible de la vitesse.

Mais il est des cas où il n'est pas possible de changer la vitesse autrement que dans des limites très étroites ; par exemple lorsque le moteur, à courants triphasés, est alimenté par un réseau où la fréquence du courant est constante. Nous ne sommes pas pour cela désarmés. Nous pouvons obtenir une variation de hauteur par échelons, avec notre pompe multicellulaire, en enlevant des roues dans le corps de pompe. Cette solution est très bonne quand l'on a à déplacer l'appareil (ce qui se présente quelquefois) d'un étage d'une mine à un autre. Ce déplacement ne se faisant qu'une fois ou quelques fois seulement dans le cours de l'existence de la pompe, il est très acceptable que l'on démonte la machine pour y enlever des roues ou pour en ajouter.

Si, au contraire, ayant besoin de faire varier fréquemment la hauteur d'élévation, comme dans le cas du fonçage d'un puits, l'on trouve que le démontage de la pompe est une sujétion inacceptable, nous avons une autre solution très commode qui consiste à mettre plusieurs tubulures de refoulement sur le corps de la pompe, autant qu'il y a de roues, s'il le faut. En raccordant le tuyau de refoulement à l'une ou à l'autre de ces tubulures, on obtient des hauteurs d'élévation différentes pour une vitesse constante de la pompe. L'on peut de cette manière faire varier la hauteur d'élévation progressivement depuis zéro jusqu'au maximum qui est obtenu avec la dernière tubulure de refoulement.

Nous avons dit que les pompes centrifuges donnaient un débit variable ; il faut cependant ne pas perdre de vue que, si l'on veut maintenir le rendement mécanique à un chiffre élevé, il convient de ne pas réduire par trop le débit au-dessous de sa valeur normale ou de ne pas l'augmenter beaucoup au delà de cette valeur. Quant à la manière dont on obtient le réglage du débit, c'est extrêmement simple. Il suffit de placer une vanne sur le tuyau de refoulement (par exemple à la sortie de la pompe) et de donner à la pompe une vitesse un peu supérieure à celle qui serait strictement nécessaire pour obtenir la hauteur d'élévation totale. Dès lors, en ouvrant plus ou moins la vanne, on a plus ou moins de débit.

On peut même fermer complètement la vanne tout en laissant la pompe continuer à tourner, cela n'occasionnera aucun inconvénient ; la pression donnée par la pompe sera un peu augmentée, mais extrêmement peu. Avec les pompes à piston, il n'en serait pas de même ; si on fermait brusquement le tuyau de refoulement, on risquerait d'amener la rupture d'un des organes de cette pompe.

Comme on le voit, les pompes centrifuges offrent une très grande souplesse de débit et de hauteur d'élévation. C'est là un très réel avantage.

D'autre part, rappelons que le rendement mécanique qu'elles offrent est très comparable à celui des pompes à piston. Si on compare entre eux ces engins pris isolément, le rendement mécanique des premières est sans doute un peu inférieur à celui des secondes. Mais si l'on tient compte de ce que la machine doit être accouplée à un moteur électrique, on voit que la pompe centrifuge regagne la différence parce qu'elle s'attelle directement, tandis que la pompe à piston exige un engrenage intermédiaire qui fait perdre une notable proportion de la force motrice. Ou bien, si on veut l'atteler directement au moteur, il faut ralentir beaucoup celui-ci en lui donnant des dimensions exorbitantes, ou accélérer la vitesse de la pompe au delà des limites habituelles, ce qui occasionne un abaissement considérable du rendement et est une cause de détérioration rapide des clapets.

Une autre propriété intéressante des pompes centrifuges, qu'il convient de signaler, consiste en ce fait que la force motrice qu'elles réclament quand elles ne débitent pas, même sous la hauteur de charge normale, est une

comme pompes de fonçage dans le creusement des puits.

Comme pompes souterraines, si le puits de mine n'a pas plus de 200 à 300 m de profondeur, on peut faire l'élévation de l'eau d'un seul jet, avec une pompe unique. Dans le cas contraire, il convient de diviser la hauteur totale en plusieurs jets de 100 à 200 m; une semblable disposition a été réalisée dans les mines de Horcajo, en Espagne, par la Maison Sulzer, de Winterthur. Toutefois M. Rateau pense qu'il est possible, dans certaines conditions, d'atteindre 500 m et plus d'un seul jet, avec une pompe unique mue par un moteur électrique triphasé.

Comme pompes de fonçage, les appareils centrifuges accouplés avec moteurs électriques paraissent préférables aux machines à piston à cause de leur faible encombrement, de leur faible poids et de la facilité avec laquelle on peut suspendre l'appareil au bout de chaînes. Il y aurait peut-être à craindre, dans cette application, que les matières sableuses en suspension dans l'eau occasionnent une usure rapide de la pompe; mais cette crainte ne paraît pas bien sérieuse tant que la quantité de sable entraînée ne dépasse pas celle que l'on rencontre généralement en pratique.

Dans la dernière partie de sa communication, M. Rateau envisage les pompes mues par turbines à vapeur. Bien que les essais faits sur ces appareils aient donné des résultats surprenants, nous ne faisons que signaler cette partie qui sort du domaine de l'électricien.

J. R.

TRACTION

Prise de courant P.-W. Smith pour tramway électrique. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 250, 1er septembre 1901.

Smith réunit dans une même prise de courant les avantages du trôlet et de l'archet. La prise est constituée par un trôlet ordinaire (fig. 1) en arrière duquel est placé un archet; la partie supérieure de celui-ci est rectiligne et porte deux cylindres formant rouleau, ces pièces

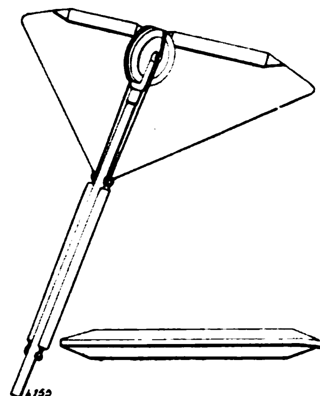


Fig. 1.

sont terminées en pointe et laissent par suite entre elles un creux qui correspond précisément à la roue du trôlet. Lorsque, au passage d'une courbe, le conducteur quitte la roue, le contact continue par l'un des rouleaux de l'archet, et lorsque la voie redevient rectiligne, le conducteur revient dans l'axe, glisse entre les deux rouleaux et retombe sur la roue du trôlet. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 13 janvier 1902. (Suite.)

Sur la différence de potentiel et l'amortissement de l'étincelle électrique à caractère oscillatoire, par **F. Beaulard**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 90-92.

Cette note a pour objet de compléter et de rectifier celle que l'auteur a communiquée pré-

petite fraction de la force motrice qui correspond au débit normal. Dès lors, le couple au démarrage est faible, ce qui est précieux pour l'accouplement avec certains moteurs électriques. Avec les pompes à piston, au contraire, le couple au démarrage est sensiblement le même que celui de la marche normale, à moins que l'on ne réduise temporairement la hauteur de refoulement par une soupape ou un robinet de décharge.

A ces divers avantages des pompes centrifuges, il faut ajouter encore ceux qui résultent d'une grande simplicité et d'une grande robustesse. Elles n'exigent que peu de surveillance, peu d'entretien et presque aucune dépense de graissage, puisque les seuls organes où il y ait à verser de l'huile de temps en temps sont les deux paliers de la dynamo.

cédemment à l'Académie (1), le 5 août dernier; une erreur de décimales s'étant introduite dans les calculs des résultats indiqués dans cette dernière, les nombres trouvés pour la différence de potentiel, relative à une certaine distance explosive, sont dix fois trop forts. Le tableau suivant, dans lequel la correction a été faite, donne, pour des longueurs d'étincelle variables de 0,1 cm à 1 cm, la valeur efficace v du potentiel, entre des boules de 1 cm de diamètre, déterminée par l'électromètre absolu, c'est-à-dire la racine carrée de la moyenne quadratique des potentiels oscillants; on a inscrit, en même temps, la valeur v' de la différence de potentiel, pour une même longueur d'étincelle, d'après MM. Bichat et Blondlot.

c.	v.	v'.	v' — v.
0,1	1,573	16,10	14,53
0,2	1,967	27,50	25,53
0,3	2,324	38,20	35,88
0,4	2,700	47,70	45,00
0,5	3,085	56,30	53,22
0,6	3,471	64,90	61,43
0,7	4,048	71,60	67,55
0,8	4,812	77,00	72,19
0,9	7,032	81,60	74,57
1,0	8,043	84,70	76,66

Les valeurs qui ont été données pour le coefficient α du facteur d'amortissement $e^{-\alpha t}$ doivent être également corrigées; par suite de l'erreur de calcul qui affecte v, elles sont en effet cent fois trop faibles et, du reste, ne déterminent α qu'à un facteur constant près (2).

Téléphonie sans fil par la terre, par **E. Ducretet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 92-93.

S'inspirant des expériences réalisées en 1876 par Bourbouze, et tout en poursuivant ses travaux sur la télégraphie sans fil, M. Ducretet a cherché à reproduire la parole dans un téléphone ordinaire, en se servant de la terre comme conducteur unique. Les premiers résultats obtenus donnent un certain intérêt à ces expériences. Nous reproduisons ci-dessous la description que donne M. Ducretet du dispositif employé (1).

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 155, 21 sept. 1901.

(2) Le raisonnement fait dans la note du mois d'août est d'ailleurs incomplet ;

Si le potentiel oscillant est de la forme

$$V = Be^{-\alpha t} \cos \frac{2\pi}{T}(t + k),$$

la moyenne de V^2 pour une période est égale à $\frac{B^2 e^{-2\alpha t}}{2}$, et l'intégrale de cette expression étendue à *une décharge totale* a pour valeur $\frac{B^2}{4\alpha}$.

Le nombre des décharges étant de n par seconde, la moyenne v^2 du carré des potentiels oscillants est $n\frac{B^2}{4\alpha}$; comme la première étincelle correspond au potentiel $v' = B$, il en résulte

$$\alpha = \frac{1}{4} n \frac{v'^2}{v^2}.$$

Une série de mesures faites sur le trembleur de la bobine de Ruhmkorff a donné $n = 19,5$; on a alors le tableau suivant :

c.	α.	θ. (s)
0,1	487,5	0,0094
0,2	955,5	0,0048
0,3	1306,5	0,0035
0,4	1521,5	0,0030
0,5	1618,5	0,0028
0,6	1696,5	0,0027
0,7	1521,0	0,0030
0,8	1248,0	0,0036
0,9	682,5	0,0067
1,0	546,0	0,0084

La seconde colonne indique le temps θ au bout duquel l'amplitude serait réduite à $\frac{1}{100}$. On voit que l'amortissement augmente, passe par un maximum (pour 0c,6), et diminue ensuite. Ce résultat peut dépendre des constantes du circuit de décharge (self-induction et capacité) et de diverses autres circonstances telles que l'énergie radiée par l'étincelle, sa température, sa résistance et le travail mécanique qu'elle effectue dans son parcours à travers l'air. Quoi qu'il en soit, la vibration a une forme pendulaire très amortie, ce qui est bien conforme aux idées de MM. Poincaré et Bjerkness.

(1) « Le *transmetteur* comprend une batterie de quelques éléments de piles ou d'accumulateurs reliés directement à un *microphone* et à *deux prises de terre*, d'une certaine surface, enfouies à 1,50 m de la surface du sol ; ces prises de terre sont éloignées l'une de l'autre : quelques mètres de distance suffisent.

» Pour le *récepteur*, j'utilise un puits de carrière, de 18 m de profondeur, communiquant avec les catacombes ; l'orifice de ce puits se termine, à la surface du sol, par un tuyau en fonte de fer de 9 cm de diamètre et de 4 m de longueur. Un conducteur isolé, descendu dans ce puits vertical, amène une sphère métallique de 8 cm de diamètre au contact du *sol des catacombes*. A la sortie du puits, ce conducteur est fixé à une des bornes d'un *téléphone ordinaire ;* l'autre borne est amenée au contact du tube de fonte, à la surface du sol.

» Les *prises de terre, ainsi faites en pleine terre*, sont séparées par un corps de bâtiment avec caves et d'épais murs. La couche de terre qui sépare les deux postes, transmetteur et récepteur, n'est donc pas d'épaisseur négligeable.

» Ces conditions d'installation peuvent varier suivant les terrains utilisés à ces expériences de *téléphonie sans fil* et la distance qui sépare les postes; la profondeur

du puits n'est pas indispensable pour le succès de l'expérience ; mais, dans le cas actuel, cette grande profondeur donne un caractère intéressant aux résultats acquis : *les couches géologiques n'interviennent pas comme dans l'expérience de Bourbouze, avec courants telluriques faisant dévier l'aiguille d'un galvanomètre sensible.*

» Quand on parle devant la membrane du microphone, toutes les vibrations produites par la voix, même les plus faibles, donnent naissance à des augmentations et à des diminutions de pression sur les contacts microphoniques et, par suite, à des variations successives, de même ordre, de l'intensité du courant qui circule dans le *circuit microphonique et téléphonique fermé par la terre seule*, sans conducteur métallique entre les postes. Malgré les multiples variations des vibrations que donne la voix humaine sur la membrane du microphone, et la nature du milieu *terre* interposé entre les postes, *la parole est reproduite dans le téléphone, avec une netteté remarquable, sans l'intervention d'aucun de ces bruits parasites si gênants dans la téléphonie par fils conducteurs.*

» Le voisinage du courant continu ou alternatif des dynamos de mes ateliers ne trouble pas cette *réception par la terre.*

» L'explication est difficile à donner ; mais il est certain que la terre, dans cette expérience, filtre, en quelque sorte, le *courant d'aller et de retour* nécessaire au fonctionnement des appareils : ce courant se diffuse par des dérivations pouvant actionner un certain nombre de téléphones placés à des distances quelconques du transmetteur.

» Dans le poste de la rue Claude-Bernard, ces courants peuvent actionner un *relais avec sonnerie d'appel.*

» Si l'on soulève la sphère qui repose simplement sur le sol des catacombes, toute réception cesse : elle reprend dès que le contact de la sphère avec le sol est rétabli. *Ce sol est sec.* Cette démonstration est concluante.

» Ces expériences vont continuer à de plus grandes distances et en faisant varier les conditions d'installation des prises de terre. »

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 227, 10 août 1901.

De l'influence des basses pressions barométriques sur la fréquence des aurores polaires, par **H. Stassano**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 93-95.

Dans une note antérieure (1), l'auteur a signalé plusieurs faits qui démontrent que les aurores polaires sont d'origine terrestre, qu'elles sont liées intimement aux autres phénomènes météorologiques de notre planète. Parmi ces phénomènes, ce sont les basses pressions barométriques qui influent le plus directement sur les aurores en augmentant la fréquence ; l'auteur en donne de nombreuses preuves dans sa nouvelle note et conclut ainsi :

« L'influence des basses pressions sur la production des aurores rend compte également de l'orientation de ces dernières et de bien d'autres problèmes qui se rattachent à ces météores. L'espace me manque pour développer ces questions. Il se dégage pourtant de cette influence une conséquence relative à l'origine des aurores que je dois indiquer en terminant. Pour qu'on puisse constater une relation aussi constante entre les différentes périodes et les différentes phases des aurores et la variation de la pression barométrique mensuelle et diurne, il faut qu'elles aient vraiment leur origine dans les couches relativement inférieures de l'atmosphère. Il serait autrement impossible de comprendre comment les variations de pression à la surface du sol pourraient avoir leur répercussion sur les très hautes couches de l'air où se développent ordinairement les aurores. L'observation montre, d'ailleurs, que le rayonnement de ces météores se propage toujours de bas en haut. »

Sur la thermo-électricité des aciers et des ferro-nickels, par **G. Belloc**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 105-106.

Les résultats indiqués dans une précédente Communication (1) ont été précisés et étendus, par l'emploi de la même méthode, à des échantillons titrés.

Le dispositif expérimental déjà sommairement décrit consiste à déterminer les courbes en (E, t) et $\left(\frac{dE}{dt}, t\right)$, de 20° en 20°, de couples acier-platine, en opérant dans un four électrique donnant des températures croissant ou décroissant avec une vitesse aussi faible que l'on veut.

Certains essais ont porté sur une série d'échantillons titrés allant depuis le fer doux jusqu'à l'acier, renfermant 1,25 p. 100 de carbone ; ces échantillons provenaient des aciéries d'Unieux et d'Assailly (2).

D'autres essais ont porté sur une série d'aciers

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 239, 11 août 1900.

(2) « Les courbes en (E, t) montrent une progression continue de E avec t : elles présentent trois points d'inflexion. La teneur en carbone abaisse la valeur de E, le manganèse aussi.

» Si maintenant l'on construit les courbes en $\left(\frac{dE}{dt}, t\right)$, on voit qu'elle présentent toutes la même allure que j'ai décrite dans ma première Communication ; c'est-à-dire un minimum commun vers 380°, un maximum en relation avec la position du point a_3 et un second minimum dis-

au nickel dont M. Steinmann avait déterminé la force électromotrice par rapport au plomb, pour certaines températures d'ébullition dont la plus élevée n'a pas dépassé 300°[1]. Les teneurs en nichel variaient depuis 5 p. 100 jusqu'à 35,5 p. 100.

Séance du 20 janvier.

Sur l'application des équations de Lagrange aux phénomènes électrodynamiques et électromagnétiques, par **Liénard**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 163-165.

On se souvient que M. Carvallo [2], en prenant comme exemple la roue de Barlow, arrive à ce résultat que les équations de Lagrange ne seraient pas toujours applicables aux phénomènes électrodynamiques, notamment dans le cas des conducteurs à deux ou trois dimensions. M. Liénard établit que cette restriction n'est pas fondée et qu'un raisonnement rigoureux appliqué au calcul des équations de Lagrange conduit bien aux équations exactes du mouvement de la roue de Barlow [1].

tant de 120° environ du maximum. Ces résultats sont à rapprocher de ceux trouvés par M. H. Le Chatelier sur la variation de résistance électrique avec la température.

» Enfin, toutes ces courbes qui, à partir de 680°, s'étaient nettement séparées les unes des autres au fur et à mesure que se produisait leur maximum, cheminent en voisinant à partir de 1 000°. Par conséquent, de 650° à 1 000°, le fer se trouve dans un état tel qu'une proportion plus ou moins grande de carbone suffit pour déplacer en avant sa courbe représentative de pouvoir thermo-électrique et caractériser ainsi sa teneur en carbone ; cet état correspondrait à celui qu'a défini M. Pionchon dans son étude de la chaleur spécifique du fer.

(1) « A l'encontre des résultats précédents, je n'ai pas obtenu de variation progressive de courbes en relation avec la composition chimique. De cette étude il résulte que :

» 1° La forme générale des courbes en (E, t) de couples ferro-nickel-platine est parabolique ;

» 2° Il y a exception pour l'acier à 5 p. 100 de nickel ;

» 3° Les aciers à 5 p. 100 et à 28 p. 100 ont présenté, à partir de 400° et 500°, des variations brusques, révélatrices d'une transformation moléculaire ;

» 4° L'acier à 28 p. 100 se distingue par sa grande force électromotrice et la température de son point neutre ;

» 5° De faibles variations de teneur en nickel suffisent pour amener de grandes variations dans la température du point neutre et sa force électromotrice, ainsi que le montre le tableau ci-après :

Teneur p. 100 de nickel,	Température du point neutre.	E en microvolts.
5	» °	196° à 400°
24	250	980
26	60	70
28	495	6300
30,4	95	120
34,6	190	1050
35,2	84	112
35,5	150	616

(2) *Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 451, 21 décembre 1901.

(1) « *Force pondéromotrice exercée sur la roue.* — La force correspondant au paramètre x et égale à $\frac{\partial T}{\partial x}$. ∂T différentielle partielle par rapport à x, doit naturellement être prise en supposant que les autres variables qui figurent dans T (notamment les y') sont constantes, c'est-à-dire que les *intensités de courant restent constantes pendant le déplacement.*

» Or, que doit-on entendre par là ? Est-ce en chaque point de l'espace que la densité de courant doit rester constante, ou, au contraire, par rapport à la matière entraînée ? Si l'on se reporte au cas des courants linéaires, la réponse n'est pas douteuse ; la question ne se pose même pas : c'est évidemment dans le fil que le courant reste le même. Donc, dans un espace à trois dimensions, nous devrons aussi, pour calculer $\frac{\partial T}{\partial x}$, opérer comme si les tubes de courant étaient entraînés dans le déplacement et la déformation de la matière, le flux d'électricité à travers chaque tube conservant sa valeur primitive.

» Supposons que le courant y'_1 remonte dans la roue suivant le rayon vertical BC. Donnons à la roue, pour

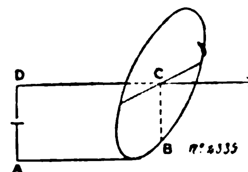


Fig. 3.

évaluer ∂T, une rotation virtuelle dx qui amènera BC en une position peu différente que nous appellerons B'C. Nous devrons considérer le courant comme suivant maintenant la ligne ABB'CD, ce qui revient à ajouter à l'ancien système de courants un autre courant y'_1 suivant le contour CB B'C. L'augmentation de T est donc égale à $y'_1\, d\Phi$, $d\Phi$ étant le flux à travers CBB'. En ne considérant que l'action du courant y'_2, $d\Phi$ est de la forme de Ky'_2dx et

$$\frac{\partial T}{\partial x} = y'_1 \frac{dx_2 K y'}{dx} = K y'_1 y'_2.$$

» L'erreur de M. Carvallo a uniquemest pour origine la symétrie du système qui fait que, pendant la rotation de la roué, le courant suit toujours la verticale de C. Cela amenait tout naturellement à supposer que, dans

Électrodynamique des corps en mouvement. par **E. Carvallo**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 165-168.

L'analyse de la charge d'un condensateur par un courant voltaïque conduit [1], pour les corps en repos, à ces lois :

1° *Le flux du courant total à travers toute surface fermée est nul.*

2° *La force électromotrice totale dans tout contour fermé est nulle.*

L'auteur en a déduit les équations de l'Électrodynamique pour les corps en repos [2]. Il étend ces résultats aux corps en mouvement.

1. *Les deux lois fondamentales étendues aux corps en mouvement.* — La première loi est une loi de liaison analogue à celle de l'incompressibilité des liquides. Elle s'étend de la même façon aux corps mobiles : la surface à travers laquelle on compte le flux peut être soit fixe, soit mobile avec l'un des corps. Quant à la deuxième loi, c'est celle des travaux virtuels pour les déplacements compatibles avec la liaison d'incompressibilité. Comment doit-on l'appliquer aux corps en mouvement? Il faut prendre les déplacements compatibles avec les liaisons du système *considéré fictivement comme au repos* dans sa situation à l'époque t. Ce sont les déplacements électriques qu'on peut imaginer suivant tous les contours fermés. Ainsi la deuxième loi s'applique encore à tous les contours fermés fixes. L'expression du travail des forces d'inertie sera seule changée; c'était, pour les corps en repos, le flux du vecteur — a', vitesse de variation de l'induction magnétique changée de signe; pour les corps en mouvement, il résulte de la note du 23 décembre sur les lois de l'*inertie* électrique [1] que ce sera le même flux augmenté de l'intégrale du vecteur $f|[x'a]$ le long du contour. Je vais rappeler ce qu'est ce vecteur. J'en profiterai pour combler une lacune que j'ai vivement regrettée.

2. *Force électromotrice d'induction due au mouvement de la matière.* — J'ai établi dans la note du 23 décembre que, pour les conducteurs magnétiques ou non et pour les électrolytes, cette force est représentée en chaque point par le même vecteur $|[x'a]$ qui représente le parallélogramme construit sur la vitesse x' et l'induction magnétique a. Pour les diélectriques, j'ai dit que l'expérience faisait défaut. Or M. Blondlot la réalisait quand M. Carvallo écrivait sa note [2]. Il a trouvé une force nulle pour l'air. M. Carvallo pense que, pour un diélectrique dont le pouvoir inducteur spécifique est K_1 différent de celui du vide K_0, on trouverait $\frac{K-K_0}{K}\Big|[x'a]$, comme l'indique M. Blondlot d'après Lorentz. Quoi qu'il en soit, on peut représenter la force par $f|[x'a]$, f étant égal à 1 pour les conducteurs et les électrolytes, à zéro approximativement pour les gaz, la valeur de f restant à préciser pour les

---

un déplacement virtuel, il fallait aussi considérer le courant comme fixe dans l'espace.

» 2. *Force électromotrice d'induction.* — Son expression pour un courant linéaire fermé où circule un courant y' est $-\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{dy'}$. Le calcul de $\frac{\partial T}{dy'}$ ne présente aucune particularité, car il faut supposer les x constants, c'est-à-dire tout au repos $\frac{\partial T}{\partial y'}$ est égal au flux Φ à travers le contour et $-\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial y'} = -\frac{d\Phi}{\partial t}$.

» C'est le calcul de $\frac{d}{dt}$ qui est sujet à erreur. Considérons encore le cas d'un circuit linéaire. $d\Phi$ représente évidemment la variation totale de Φ, due tant à la variation du champ qu'au déplacement du circuit dans le champ. De même ici, dans le calcul de $\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial y'}$, nous devons tenir compte de ce que, par une rotation dx, le *circuit matériel* ABCD prend la forme ABB'CD. Le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits étant nul, la variation de $\frac{\partial T}{\partial y'}$, ou Φ, se réduit à $Ky'_2 dx$, d'où

$$-\frac{d}{dt}\frac{\partial T}{\partial y'} = -Ky'_2\frac{dx}{dt} = -Ky'_2 x'_1.$$

» Nous nous sommes borné à l'examen du cas étudié par M. Carvallo, mais nous avons vérifié d'une façon absolument générale que la théorie de Maxwell est applicable au cas de conducteurs à trois dimensions, même s'il y a dans le champ des aimants permanents et des corps magnétiques parfaitement doux, à perméabilité constante ou non. »

[1] E. Carvallo, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1290; *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 110, 18 janvier 1902.

[2] E. Carvallo, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 36; *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 147, 25 janvier 1902.

[1] E. Carvallo, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 1195; *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 108, 18 janvier 1902. C'est par erreur typographique que cette note a été intitulée : « Lois de l'*énergie* électrique. » C'est *inertie* qu'il faut lire.

[2] Blondot, *Comptes rendus*, t. CXXXIII, p. 778; *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 414, 14 décembre 1901.

diélectriques autres que les gaz, voisins du vide.

3. *Équations de l'Électrodynamique pour les corps en mouvement.* — On les obtient comme pour les corps en repos. Ce sont d'abord, pour les milieux continus [1].

$$\frac{d}{dx}\Big|u = 0, \quad \Big|\frac{d}{dx}\mathrm{U} = a' - \Big|\frac{d}{dx} f\Big| x'a. \qquad (1)$$

Pour les surfaces de discontinuité, la composante normale du courant total u est continue; la composante tangentielle de la force électromotrice $\mathrm{U} + f|x'a$ est continue [2].

Equation de l'énergie. — C'est l'équation des travaux virtuels où l'on remplace le déplacement virtuel par le déplacement réellement pris. On trouve que l'énergie fournie au système par les sources extérieures égale l'accroissement de son énergie totale composée de deux énergies potentielles et de deux énergies cinétiques, l'énergie électrique et l'énergie purement mécanique.

5. *Conclusions.* — « 1° J'ai étendu, dit M. Carvallo, aux corps en mouvement les deux lois fondamentales de l'électrodynamique établies pour les corps en repos dans une note antérieure. La première loi est la liaison d'incompressibilité, la deuxième est la manifestation du principe des travaux virtuels sous la forme particulière qui convient à l'électricité.

« 2° J'ai donné les équations générales de l'électrodynamique pour les corps en mouvement. Ce sont les équations des travaux virtuels.

« 3° L'équation de l'énergie s'en déduit comme en mécanique.

« Ce sujet mérite des développements. Je les donnerai incessamment dans une publication d'ensemble sur l'électrodynamique. »

Sur la décomposition de l'acétylène pendant sa combustion, par Fernand Gaud, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 175-177.

Lorsque, dans un bec à trous très fins, on brûle l'acétylène tel qu'il est obtenu de la décomposition de l'eau par le carbure de calcium, on ne tarde pas à constater que les orifices de sortie du gaz noircissent, puis se recouvrent d'un dépôt annulaire de carbone, allant en grandissant jusqu'à prendre les proportions d'une excroissance aux formes des plus capricieuses. Le débit devient irrégulier et l'on dit alors que le bec est encrassé.

Ce phénomène de décomposition, qui a été le grand écueil de l'industrie de l'acétylène à son début, n'a jamais été étudié systématiquement, et le remède à l'encrassement a été cherché en modifiant de la façon la plus empirique l'un des 2 facteurs en jeu : brûleur ou gaz brûlé. Les uns, attribuant le dépôt de carbone à l'influence décomposante de la température élevée

(1) E. Carvallo, *Loc. cit.* Notation de Grassmann.

(2) « La première équation (1) est celle d'incompressibilité : l'autre exprime le principe des travaux virtuels pour les déplacements électriques δq compatibles avec la liaison d'incompressibilité. Nous devons écrire, en outre, l'équation des travaux virtuels pour les déplacements compatibles avec la mobilité mécanique des corps qui forment le système.

» Pour cela, j'appelle T_1 la force vive proprement dite et q_1 l'un des paramètres de mobilité. Le travail virtuel pour $\delta q_1 = 1$ comprend plusieurs termes : le travail des tensions électriques de potentiel W, c'est $-\frac{d\mathrm{W}}{dq_1}$; le travail des autres forces appliquées (mains de l'observateur, par exemple), je le désigne par Q_1 ; le travail des forces d'inertie d'origine purement mécanique, c'est $-\left(\frac{d\mathrm{T}_1}{dq'_1}\right)' + \frac{d\mathrm{T}_1}{dq_1}$, quand la formule de Lagrange est applicable; enfin le travail des forces d'inertie électrique $f|[ua]$, c'est l'intégrale de volume étendue à tout l'espace

$$\int f\left(\frac{dx}{dq_1}ua\right)d\tau$$

du parallélépipède construit sur les trois vecteurs $\frac{dx}{dq_1}$, u et a, et multiplié par la constante f du n° 3. L'équation des travaux virtuels correspondant à la coordonnée q_1 est donc

$$(2) \qquad \mathrm{Q}_1 - \frac{d\mathrm{W}}{dq_1} = \left(\frac{d\mathrm{T}_1}{dq'_1}\right) - \frac{d\mathrm{T}_1}{dq_1} - \int f\left(\frac{dx}{dq_1}ua\right)d\tau.$$

» Aux équations (1), (2) on peut ajouter celles qui concernent le champ magnétique et l'induction magnétique

$$(3) \qquad \Big|\frac{d}{dx}\alpha = 4\pi u, \quad \frac{d}{dx}\Big|a = 0.$$

» Aux surfaces de discontinuité, les composantes tangentielles de α sont continues, les composantes normales de a sont continues.

» Si les corps ne sont pas magnétiques, a est égal à α ; dès lors, les équations (1), (2), (3) et les conditions aux surfaces de discontinuité déterminent le mouvement électrique et le mouvement mécanique du système, puisqu'elles forment l'expression complète du principe général des travaux virtuels. »

prise par les becs, ont songé, pour rendre l'acétylène moins sensible à l'action de cette chaleur, à le diluer avec soit un gaz inerte, soit l'air atmosphérique, et ils ont créé dans ce but des becs spéciaux, dits *à mélange et à entraînement d'air*. Les autres, soupçonnant les impuretés du gaz brut d'être pour quelque chose dans l'encrassement, préconisent une épuration sévère du gaz. Devant cette divergence d'opinions, l'auteur a étudié expérimentalement la question :

Ses expériences [1], faites d'abord sur des becs brûlant du gaz chimiquement pur, puis sur des becs brûlant du gaz souillé méthodiquement de chacune des impuretés ordinaires, lui ont démontré que si, dans certaines circonstances, la chaleur gagnée par la matière du bec peut se transmettre au gaz et favoriser sa décomposition en ses éléments, il est certain que constamment la présence de l'hydrogène sulfuré et des produits thioniques suffit pour provoquer cette décomposition dès la formation de la flamme.

---

[1] M. Gaud donne les développements suivants sur le but et les conclusions de ses essais :

« Un seul auteur, M. Bullier, a étudié scientifiquement le phénomène de l'encrassement. Dans son Mémoire sur les applications de l'acétylène à l'éclairage (*Bull. de la Société chim.*, 3e série, t. XVII, p. 646), ce savant attribue la séparation du carbone à la décomposition des polymères de l'acétylène, ces polymères se formant à l'intérieur des becs « par suite, dit-il, de l'analogie de ceux-ci avec de véritables tubes à analyse des gaz, le débit étant très faible par rapport à la quantité de gaz accumulée dans la tête de ces becs ».

» Pour contrôler cette assertion, nous avons préparé de l'acétylène aussi pur que possible, en soumettant le gaz obtenu du carbure industriel à tous les lavages nécessaires, et nous l'avons brûlé dans des becs Manchester de 30 litres, becs constitués par de petits cylindres en laiton enfermant une plaque de stéatite, percée dans son épaisseur de deux trous convergents : ces derniers débouchaient au fond d'une petite cupule, de 1 mm de diamètre et 5 mm de profondeur. Nous avons constaté que, lorsque ces becs étaient maintenus aux environs de leur pression normale d'utilisation, le dépôt de carbone apparaissait sur les points du bord de la cupule léchés par la flamme et sa formation n'était nettement appréciable qu'au bout de douze à quinze heures de marche consécutives. Au bout de cent heures de fonctionnement du bec, le dépôt gagne quelque peu en épaisseur et en étendue, mais sans jamais atteindre les orifices de sortie du gaz qui, en aucun cas, n'ont été obstrués, bien qu'il n'y ait aucune solution de continuité entre leur bord et la naissance de la flamme.

» Ces avantages disparaissent si l'on réduit la pression au point de mettre la flamme en veilleuse. Dans cette forme, la flamme est courte et épaisse : elle frôle une surface bien plus grande de la tête du bec ; il suffit de quelques minutes pour voir noircir celle-ci et de quelques heures pour voir émerger le filament caractéristique ; mais avec l'acétylène pur nous n'avons pas observé d'engorgement sensible des canaux du gaz avant soixante heures environ de fonctionnement. Nos essais ont porté sur plusieurs modèles de becs Manchester, et tous nous ont conduit au même résultat : pas d'encrassement tant que le bec brûle normalement ; encrassement rapide si la flamme est réduite au minimum. Ce résultat différentiel n'a rien qui doive étonner ; il est facile de l'accorder avec la théorie Bullier.

» Il est généralement admis que la polymérisation de l'acétylène est possible dès la température de 100° ; comme l'encrassement est, d'après la théorie donnée par M. Berthelot, consécutif à cette polymérisation, il nous suffisait de rechercher si, dans les cas où nous obtenions un encrassement très net, nous pouvions constater ou démontrer dans le gaz brûlé une élévation préalable de température égale ou supérieure à 100°. La preuve contraire devait être faite. Nous ne pouvions songer à effectuer une mesure directe de la température du gaz dans l'intérieur d'un bec, mais rien ne s'opposait à ce que nous déterminions celle du bec lui-même et utilisions cette donnée pour calculer le nombre de degrés gagnés par le gaz pendant son séjour dans le bec. Cette dernière température nous est donnée par la formule du réchauffement des gaz établie par Witz,

$$\frac{dt}{d\theta} = v = \alpha(\beta\theta + \gamma\theta^2),$$

où θ exprime la température centigrade de l'enceinte, t celle de l'air, v le nombre de degrés gagnés en 1 seconde, α, β, γ des coefficients qui pour l'air sont 1,48, 0,11 et 0,0019 (nous admettons que la conductibilité de l'acétylène est égale à celle de l'air).

» En considérant que la masse du gaz enfermée dans la tête du bec met pour s'écouler tout entière un temps qui dépend du débit actuel du bec, et tenant compte que le volume moyen des chambres ne dépasse pas 0,25 m³ et la température de leur paroi 400°, nous trouvons les chiffres suivants pour la température prise par le gaz :

Débit horaire. . .	2l	4l	10l	20l	30l
dt.	231°	115°	46°	23°	16°

» Ces résultats montrent que la polymérisation ne devient possible que si le débit des becs, construits pour 30 litres, descend au-dessous de 5 litres, c'est-à-dire devient inférieur au $\frac{1}{6}$ de sa valeur normale. C'est ce que nous avait appris l'expérience directe, et c'est seulement avec cette restriction que la théorie Bullier doit être acceptée. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 8 Février 1902. 9e Année. — N° 6.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LE CHEMIN DE FER DE L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1900 [1]

VI. — STATION DE PRODUCTION DU COURANT UTILISÉ (*suite*)

Appareils et Tableaux de distribution. — Comme l'indique le schéma des connexions que présentait la sous-station (fig. 67), à la suite des boites de jonction, où arrivaient les câbles qui distribuaient les courants à haute tension, se trouvaient :

I. — 2 interrupteurs tripolaires, à main, du type « Plunger » à double rupture (système Westinghouse), correspondant chacun à l'un des deux câbles sous haute tension. Ces interrupteurs étaient montés sur marbre, et complètement séparés de tous les autres appareils.

Dans le type d'interrupteur dont il est question ici (fig. 68), chaque rupture a lieu dans une petite chambre dont la capacité intérieure ne communique avec l'extérieur que par un trou de faible diamètre, et il y a quatre points de rupture sur chacun des 3 pôles; l'arc, qui est produit par une rupture, échauffe vivement l'air de la chambre à l'intérieur de laquelle il prend naissance, cet air se dilate en s'échappant en partie par l'évent que la chambre présente sur sa paroi latérale, et le brusque mouvement de gaz qui résulte de cette dilatation est suffisant pour souffler rapidement l'arc, celui-ci n'étant entretenu que par une tension relativement faible, vu le nombre des ruptures.

Chacune des chambres de rupture est constituée par un cylindre, en porcelaine, percé, suivant son axe, au diamètre de 12,7 mm; dans le trou axial se meut une tige de cuivre — plongeur — qui sert à assurer, lorsqu'elle est poussée à fond dans le cylindre, la connexion entre les deux bornes que présente la chambre.

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 1er février, t. XXX, p. 153.

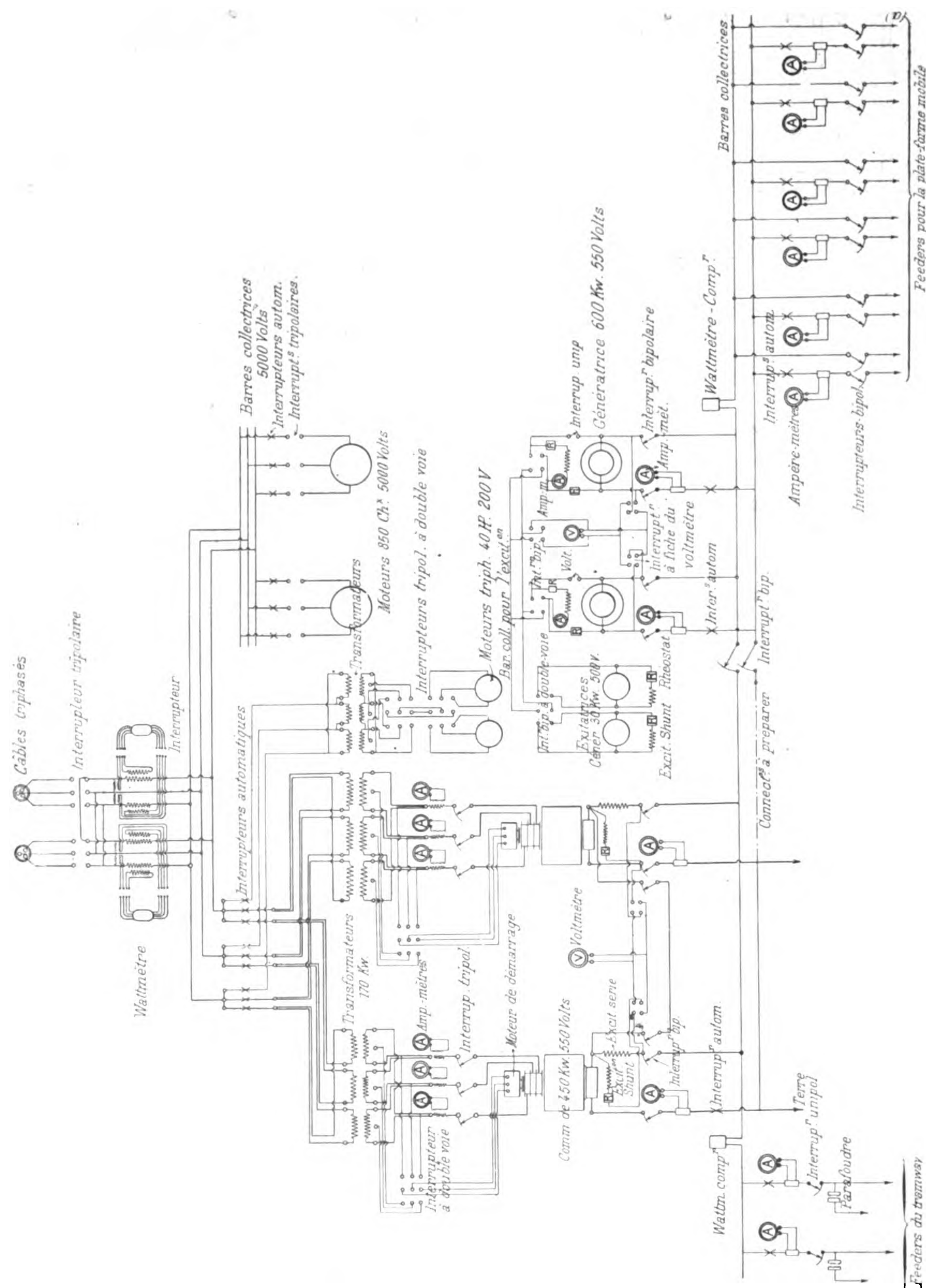


Fig. 67. — Schéma des connexions de la sous-station.

Les plongeurs sont supportés par une étoile en fonte, solidement fixée à une tige qui en commande le mouvement ; l'étoile, la tige de commande et le levier de manœuvre sont

complètement isolés des parties qui reçoivent du courant, c'est-à-dire des plongeurs et des bornes.

Enfin, les cylindres de porcelaine sont supportés par une pièce en fonte, qui sert en même temps de guide à la tige de commande. Cette pièce se monte sur la face arrière du panneau qui reçoit l'interrupteur, et le levier de manœuvre étant la seule partie de l'appa-

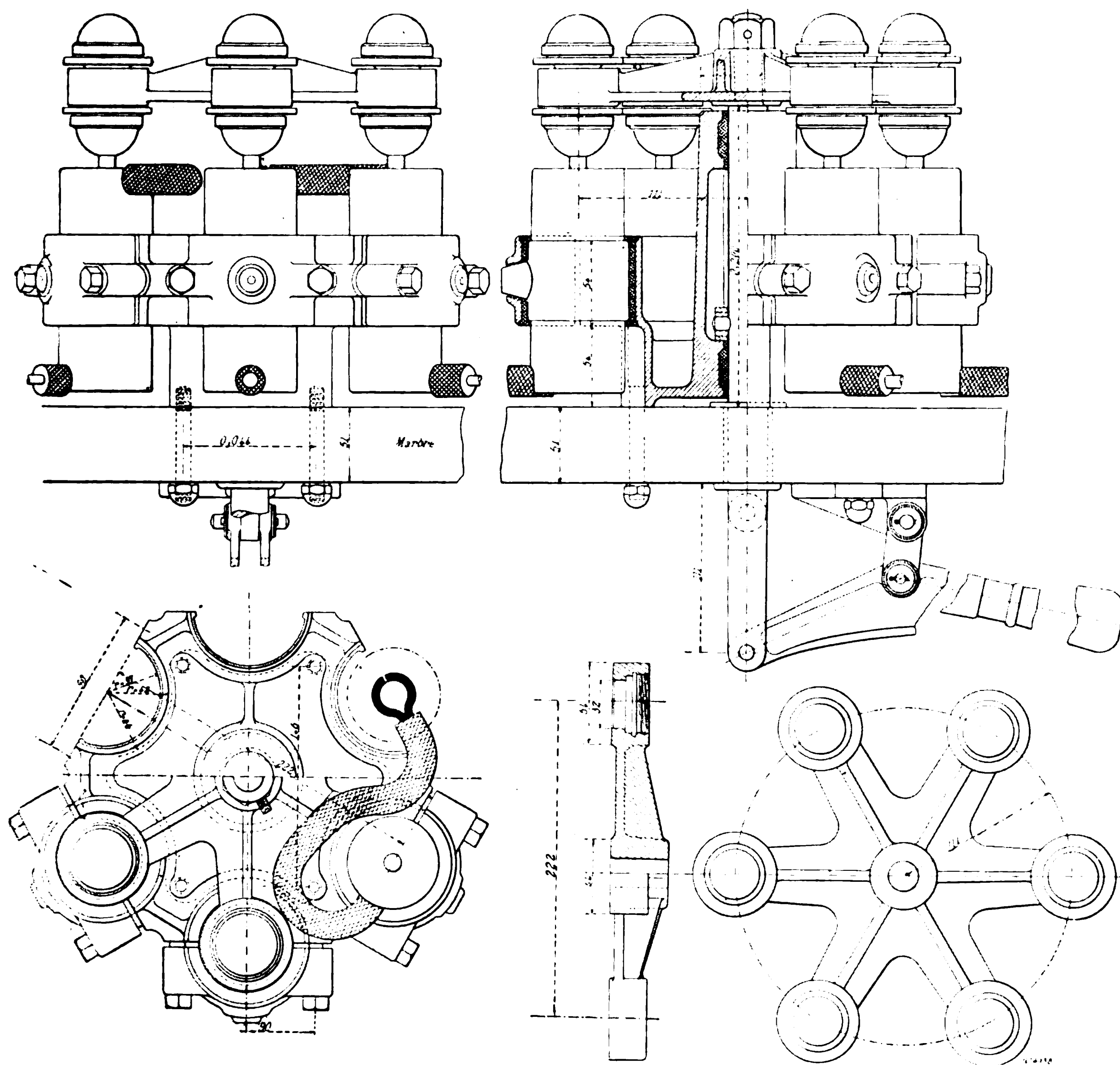


Fig. 68. — Interrupteur tripolaire à double rupture, à haute tension.

reil qui soit située sur la face avant de ce panneau, aucune des parties chargées ne se trouve du côté où l'on manœuvre.

Les données caractéristiques d'un tel interrupteur sont :

1° Capacité maximum = 200 ampères;

2° Débit maximum possible à la rupture, sous 5 000 volts, avec une fréquence de 25 périodes par seconde et un facteur de puissance au moins égal à 0,75, = 5 à 6 ampères;

II. — 2 installations de wattmètre compteur (fig. 69), une sur chacun des câbles sous haute tension.

Chaque wattmètre enregistrait, sur un cadran portant une série de divisions munies chacune d'une aiguille indicatrice, l'ensemble de ces aiguilles donnant l'intégrale de l'énergie à compter, l'énergie totale fournie par le câble sur lequel il était installé; l'installation en question comprenait, en désignant respectivement par A, B et C, les trois conducteurs du câble considéré :

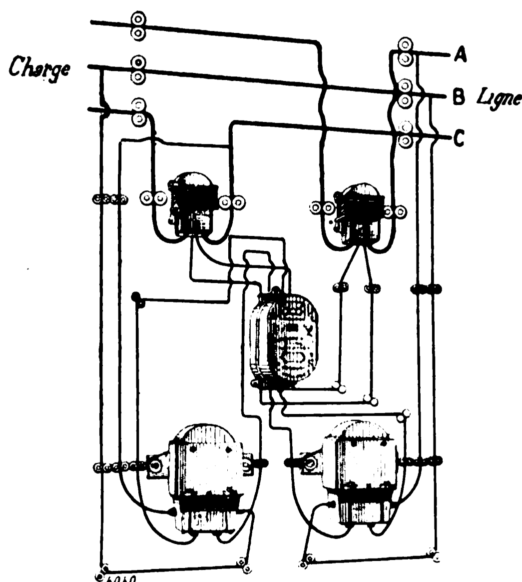


Fig. 69. — Installation d'un compteur.

1° Un transformateur d'intensité monté, d'une part, sur A, et, d'autre part, sur l'un des deux circuits à gros fils du wattmètre, circuit que nous désignerons par *a*;

2° Un transformateur de tension monté sur la phase AB et sur l'un des deux circuits à fil fin du wattmètre, sur celui qui réagit sur *a*;

3° Un transformateur d'intensité monté sur C et sur le second circuit à gros fil du wattmètre, circuit *c* ;

4° Un transformateur de tension monté sur BC et sur le second circuit à fil fin du wattmètre, circuit qui réagit sur *c* ;

5° Un wattmètre-compteur.

Quant au wattmètre employé, il était en réalité formé par l'ensemble de 2 électrodynamomètres identiques (1 et 2) (fig. 70), superposés et ayant leurs équipages mobiles montés sur le même arbre, arbre qui entraînait les aiguilles indicatrices par sa rotation. Les circuits de ce wattmètre correspondaient respectivement à une pleine charge de 100 volts, pour chacun des fils fins, et de 5 ampères, pour chacun des gros fils.

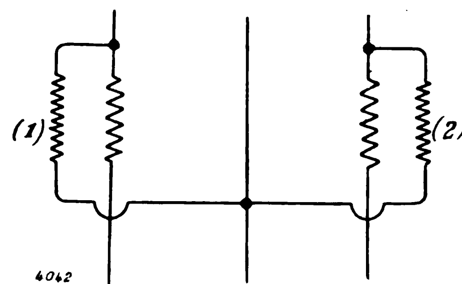


Fig. 70. — Schéma du wattmètre.

Enfin, l'un ou l'autre des 2 électrodynamomètres travaillant seul à pleine charge, la vitesse de l'arbre était de 25 tours par minute et l'on avait alors :

watts dépensés		nombre de révolutions par seconde		constante correspondant à l'utilisation de l'une des moitiés de l'appareil
5×100	$=$	$\frac{25}{60}$	$\times$	1 200

III. — D'une part, le tableau qui contrôlait la marche des moteurs d'induction alimentés sous 5 000 volts, et, d'autre part, l'alimentation des enroulements primaires des transformateurs statiques.

A. ***Tableau sous 5 000 volts*** (fig. 71 et 71 *bis*) : Ce tableau était formé de 2 panneaux identiques qui correspondaient chacun à l'un des deux moteurs d'induction de 850 chevaux. Chaque panneau était constitué par des plaques de marbre blanc, de 50 mm d'épaisseur, solidement maintenues dans une charpente en fer cornière, scellée dans le sol et reliée au mur par des tirants en fer, et il portait :

1° Un disjoncteur tripolaire, qui fonctionnait automatiquement dès que l'intensité du courant atteignait 100 ampères dans l'un quelconque de ses pôles ; ce disjoncteur pouvait ainsi distribuer 800 kilowatts, sous 5 000 volts ; ses 3 pôles manœuvraient ensemble, les 3 bras mobiles étant reliés à un même axe, et un système de leviers permettait de les commander à la main, par l'intermédiaire de l'axe qui les rendait solidaires; en raison de la solidarité des 3 bras mobiles, les fermetures ou les ruptures ne pouvaient se produire que simultanément sur les 3 phases. Pour le fonctionnement automatique, sur chaque pôle se trouvait un électro-aimant vertical dont le noyau, plus ou moins chargé au moyen de rondelles, déclanchait la fermeture de l'appareil dès qu'il était mis en mouvement par l'action de la bobine (fig. 72). Chaque rupture se faisait sur charbon, et avec une ouverture de 710 mm. Enfin, les 3 bras avaient chacun une longueur de 710 mm., et ils se trouvaient à l'intervalle de 333 mm, d'axe en axe. En outre, sur le tableau, entre les bras de pôles voisins on avait toujours interposé une plaque de marbre blanc d'Italie, de 25 mm d'épaisseur.

2° 2 lampes témoins.

Fig. 71. — Tableau des moteurs d'induction.

3° 3 ampèremètres montés respectivement sur les 3 courants passant par le panneau.

4° 2 wattmètres indicateurs, montés respectivement sur deux des phases du courant passant par le panneau : Le wattmètre (A) était alimenté, dans des bobines pour 10 ampères, par un courant proportionnel à $i\sqrt{3}$, et par un courant proportionnel à e. Le wattmètre (B) était alimenté, dans des bobines pour 5 ampères, par un courant proportionnel à i, et par un courant proportionnel à $e\frac{\sqrt{3}}{2}$. Et chacun de ces deux appareils donnait une indication proportionnelle à $ei\sqrt{3}\cos\left(\frac{\pi}{6}-\varphi\right)$, φ désignant le retard du courant sur la différence de potentiel (fig. 73); les 2 wattmètres se contrôlaient donc l'un l'autre.

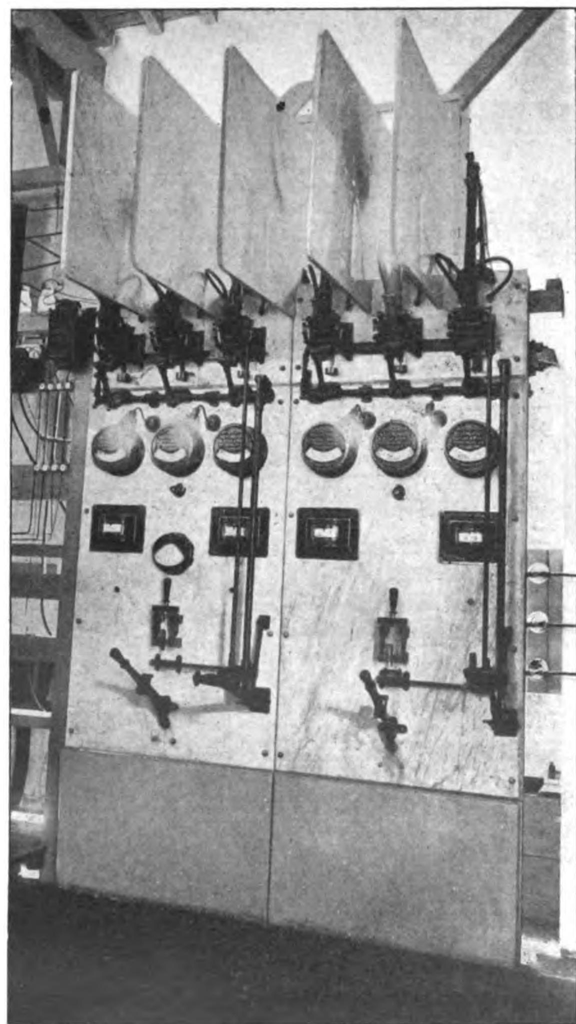


Fig. 71. — Vue du tableau des moteurs d'induction.

5° Un voltmètre commandé par le secondaire d'un petit transformateur dont le primaire était monté sur l'une des phases du courant passant par le panneau.

6° Un interrupteur tripolaire commandé à la main, du type « Plunger ». Ajoutons qu'un enclenchement mécanique convenable empêchait cet interrupteur de se fermer lorsque le disjoncteur était ouvert, et de s'ouvrir lorsque le disjoncteur était fermé; dans ces conditions, à la fermeture comme à l'ouverture des circuits, le disjoncteur était le premier interrupteur qui devait manœuvrer.

B. ***Alimentation des transformateurs statiques.*** — Des interrupteurs automatiques à fil fusible, sous 5 000 volts, étaient intercalés entre les conducteurs principaux d'alimentation et les circuits primaires des transformateurs statiques. Tous ces interrupteurs étaient identiques, et chacun d'eux (fig. 74 et 74 *bis*) se composait essentiellement de deux bras, l'un fixe et l'autre mobile, normalement maintenus rapprochés, contre l'action d'un ressort, par le fil fusible qui les réunissait à leurs extrémités supérieures, tandis que ces extrémités s'écartaient brusquement, sous l'action du ressort et par la rotation du bras mobile autour de son extrémité inférieure, dès que le fil fusible venait à fondre; l'arc de rupture éclatait entre 2 charbons, que traversait le fil fusible pour passer de l'un des bras à l'autre, et se trouvait presque immédiatement éteint en raison du grand écart que prenait rapidement ces 2 charbons.

Notons que ces interrupteurs avaient été groupés sur un tableau complètement séparé, qui se trouvait situé au-dessus de celui sur lequel étaient montés les « Plungers » qui commandaient l'alimentation de la sous-station, et placé à une hauteur telle que seules les extrémités inférieures des bras fixes en étaient accessibles du sol de la station.

c. ***Tableau de distribution à basse tension.*** — Ce tableau (fig. 75 et 76 *bis*) se composait de 13 panneaux, en marbre blanc, de 610 mm de largeur et 50 mm d'épaisseur, solidement maintenus dans une charpente en fer cornière. Il se trouvait formé par la juxtaposition d'un tableau, composé de 6 panneaux, contrôlant le service du chemin de fer, et d'un tableau, composé de 7 panneaux, contrôlant le service de la plateforme mobile.

Cet ensemble avait été placé au milieu de la sous-station, et il laissait derrière lui un large espace libre.

Un observateur, regardant la face avant du tableau général, voyait, dans le sens de sa gauche vers sa droite :

a. Tableau du chemin de fer (fig. 75 et 76). — Cette première portion servait au contrôle de la marche des commutatrices, (côtés des courants alternatifs et côtés du courant continu) et à celui des feeders du chemin de fer.

A l'extrémité gauche, sur l'un des bords latéraux du tableau général, se trouvait un voltmètre pour 600 volts, disposé sur un bras mobile de façon à pouvoir être vu d'un point quelconque de la face avant de ce tableau ; ce voltmètre indiquait constamment le voltage du courant continu qui était produit par les commutatrices en marche.

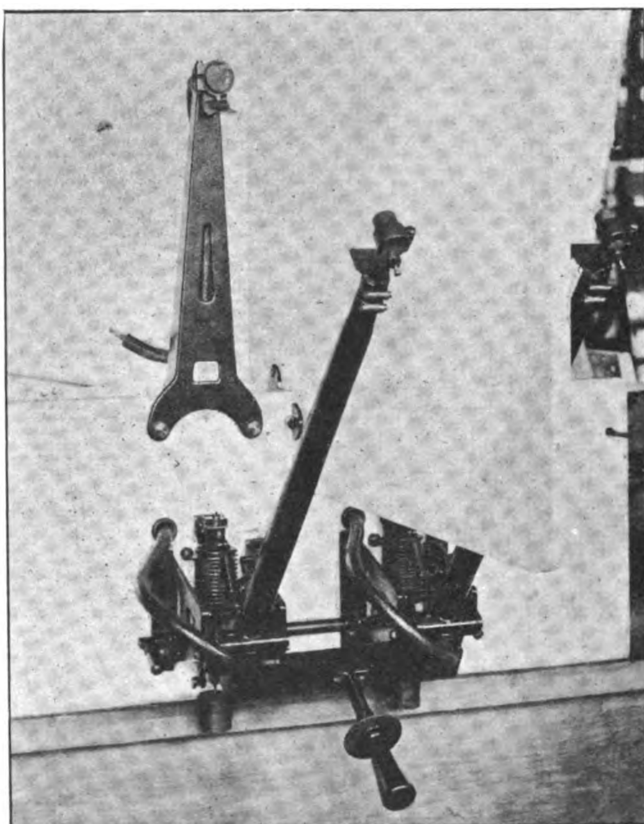


Fig. 72. — Disjoncteur automatique.

Les panneaux étaient les suivants :

1[er] *Panneau*. — Panneau pour commutatrice, côté des courants alternatifs. Il portait :

1 interrupteur tripolaire à 2 directions, pour commander le moteur de démarrage ; cet interrupteur était relié, d'une part, aux circuits secondaires des transformateurs statiques correspondants — aux milieux des enroulements, pour l'une des voies, et aux extrémités des enroulements, pour l'autre voie — et, d'autre part, au stator du moteur ; sa capacité était de 100 ampères par pôle.

1 interrupteur tripolaire, à rupture brusque, pour commander l'alimentation de la commutatrice ; cet interrupteur était relié, d'une part, aux extrémités des circuits secondaires des transformateurs statiques correspondants, et, d'autre part, aux bagues de la machine ; sa capacité était de 1000 ampères par pôle, et il permettait de rompre sous 600 volts.

1 rhéostat de champ, pour commander l'excitation en dérivation de la commutatrice.

3 ampèremètres montés respectivement sur chacun des 3 conducteurs alimentant la commutatrice (les transformateurs relatifs à ces ampèremètres étaient sur la face arrière) ; chacun d'eux était éclairé par une lampe pilote.

6 lampes de synchronisation (2 sur la face avant, et 4 sur la face arrière).

2[e] *Panneau*. — Panneau pour commutatrice, côté des courants alternatifs ; identique au 1[er] panneau.

3° *panneau.* — Panneau pour commutatrice, côté du courant continu. Il portait :

1 interrupteur tripolaire pour commander le débit de la commutatrice ; cet interrupteur était relié, d'une part, aux 3 bornes de la machine, et, d'autre part, à la barre négative, sur laquelle venaient se fixer les feeders de retour, à la barre d'égalisation, barre qui permettait la mise en parallèle des commutatrices, et au disjoncteur, d'où le courant allait aux panneaux des feeders positifs ; sa capacité était de 1000 ampères par pôle.

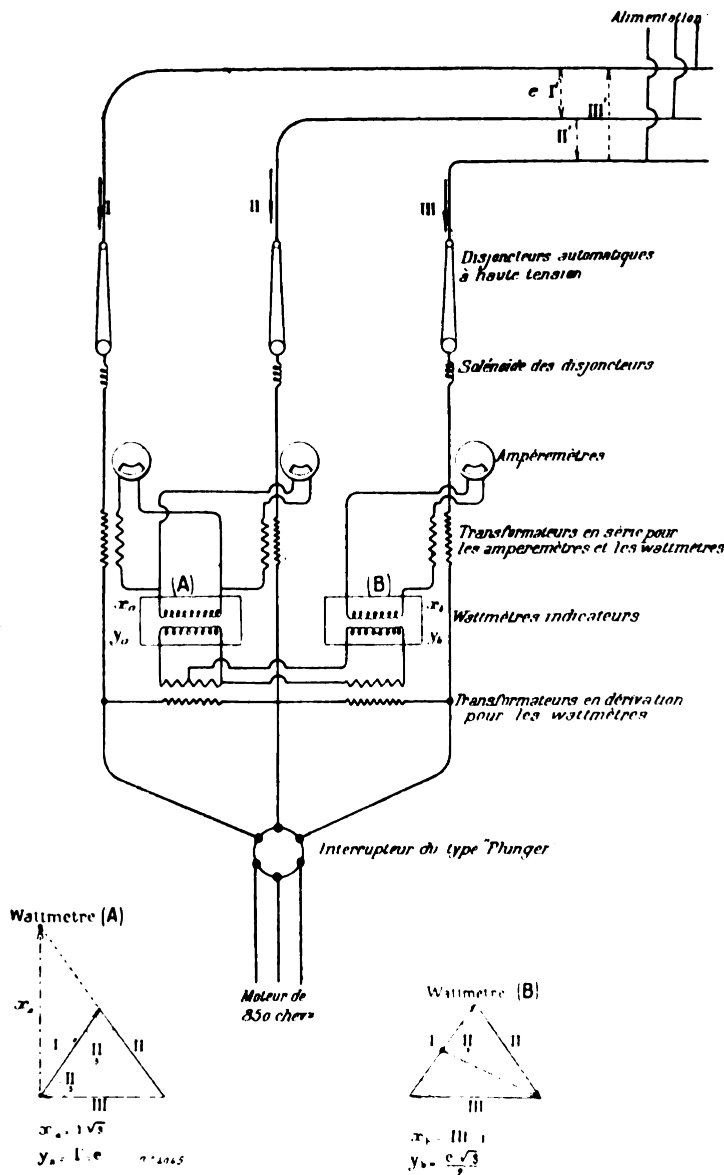


Fig. 73. — Connexions d'un panneau du tableau des moteurs d'induction.

1 ampèremètre monté sur le câble qui allait au disjoncteur ; cet ampèremètre était éclairé par une lampe pilote.

1 disjoncteur à maxima, à rupture sur charbon et du type à balai, monté à la suite de l'ampèremètre [1], (un disjoncteur de ce type est représenté par la figure 77). Ce disjoncteur, dont l'échelle de réglage s'étendait de 800 à 1500 ampères, était réglé à 1000 ampères, et il permettait la rupture sous 600 volts.

4° *panneau.* — Panneau pour commutatrice, côté du courant continu ; identique au 3° panneau.

5° *panneau.* — Panneau de feeder positif. Il portait :

1 interrupteur unipolaire, relié, d'une part, à la barre qui venait du disjoncteur intercalé sur le câble qui alimentait le panneau, et, d'autre part, à l'un des feeders positifs.

1 disjoncteur à maxima, à rupture sur charbon et du type à mâchoires (fig. 78), pour contrôler le courant qui devait passer dans l'interrupteur.

1 ampèremètre, monté sur la barre qui reliait le disjoncteur à l'interrupteur ; cet ampèremètre était éclairé par une lampe pilote.

En outre, sur la face arrière de ce panneau avaient été montés :

[1] Pour la description de cet appareil, voir *L'Éclairage Électrique* du 3 mars 1900, t. XXII, n° 9, p. 335.

1 wattmètre compteur, qui enregistrait l'énergie utilisée par le service du chemin de fer ; ce wattmètre était relié, d'une part, aux disjoncteurs des 3ᵉ et 4ᵉ panneaux, et, d'autre part, à ceux des 5ᵉ et 6ᵉ panneaux ; il se trouvait donc intercalé entre les bornes positives des commutatrices et les feeders positifs.

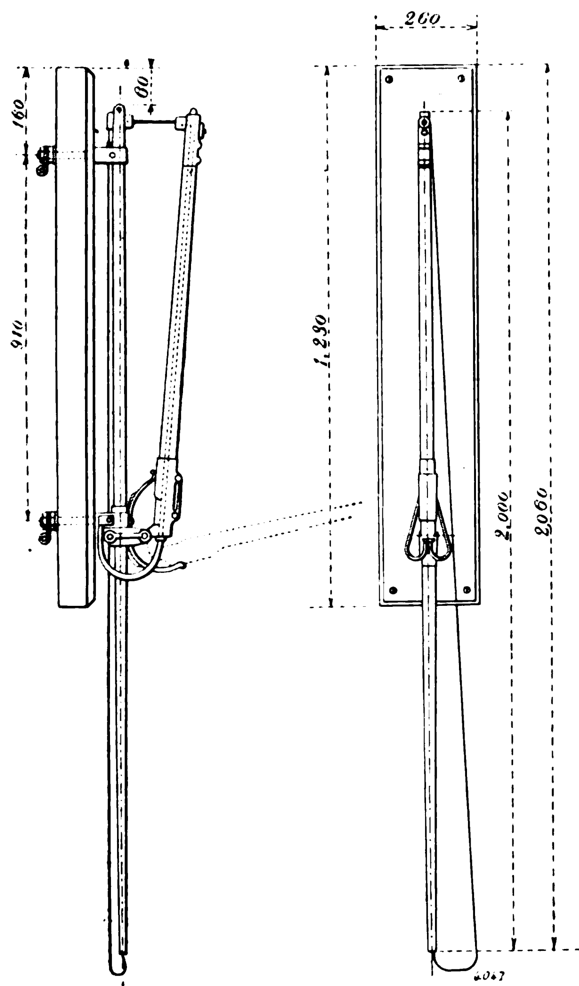


Fig. 74. — Interrupteur automatique à fil fusible.

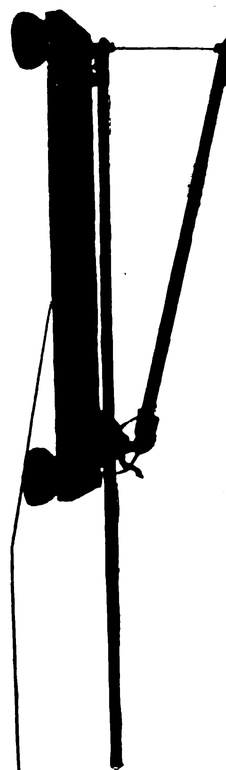


Fig. 74 *bis*. — Interrupteur automatique à fil fusible.

1 interrupteur bipolaire à 2 directions, qui permettait de relier les deux bornes extrêmes de l'une ou l'autre des deux commutatrices aux bornes du voltmètre que portait un bras mobile fixé sur le bord gauche du 1ᵉʳ panneau.

6ᵉ *panneau*. — Panneau de feeder positif ; identique au 5ᵉ panneau, sauf qu'il ne portait ni wattmètre, ni interrupteur de voltmètre.

b. Tableau de la plateforme mobile (fig. 75 *bis*, 79 et 80). — Cette deuxième portion servait au contrôle de la marche des groupes d'excitation, à celui des transformateurs tournants (côtés du courant continu), et à celui des feeders de la plateforme mobile.

1ᵉʳ *panneau*. — Panneau pour les deux groupes d'excitation. Il portait :

1 rhéostat de champ, pour la génératrice de l'un des groupes, du groupe 1 par exemple.

***

1 interrupteur tripolaire à 2 directions, qui commandait le moteur de l'un des groupes, du groupe 1 par exemple ; cet interrupteur était relié, d'une part, aux circuits secondaires des transformateurs statiques destinés à alimenter les groupes d'excitation — aux milieux des enroulements, pour l'une des voies (démarrage sous 160 volts), et aux extrémités des enroulements pour l'autre voie (marche normale sous 220 volts), — et, d'autre part, au stator du moteur ; sa capacité était de 200 ampères par pôle.

1 interrupteur tripolaire à 2 directions, qui commandait le moteur du 2e groupe, du groupe 2 ; le montage de cet interrupteur était entièrement semblable à celui de l'interrupteur précédent ; sa capacité était de 200 ampères par pôle.

1 interrupteur bipolaire à 2 directions, qui commandait le courant nécessaire au démarrage de l'une des génératrices de 600 kilowatts ; cet interrupteur était relié, d'une part, à la source de courant — à la génératrice du groupe d'excitation correspondant, pour l'une des voies, et aux 2 pôles extrêmes du courant continu du tableau relatif au chemin de fer (à la barre partant du disjoncteur du 6e panneau, et à la barre négative montée sur les 3e et et 4e panneaux), pour l'autre voie — et, d'autre part, par l'intermédiaire du 2e panneau aux bornes de la génératrice à commander ; on pouvait donc faire démarrer le transformateur tournant soit en se servant du groupe d'excitation correspondant, soit en se servant du courant continu engendré pour le service du chemin de fer. Cet interrupteur avait une capacité de 100 ampères par pôle.

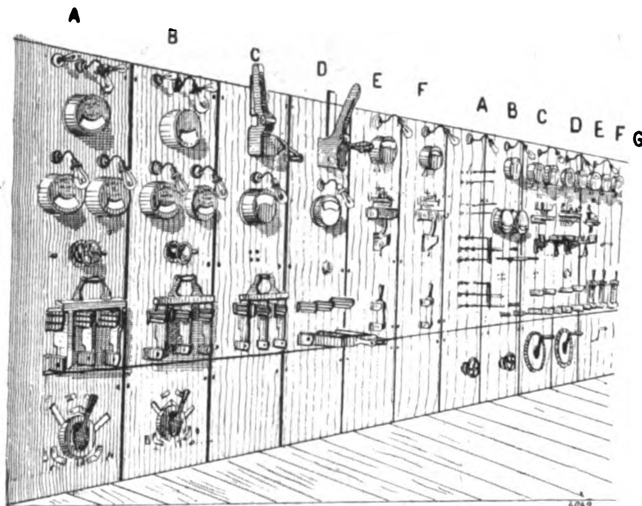


Fig. 75. — Tableau de distribution à basse tension.

1 interrupteur bipolaire à deux directions, qui commandait le courant nécessaire au démarrage de la seconde génératrice de 600 kilowatts ; le montage de cet interrupteur était entièrement semblable à celui de l'interrupteur précédent ; sa capacité était de 100 ampères par pôle.

2e *panneau*. — Pannneau pour commander le démarrage des transformateurs tournants. Il portait :

1 rhéostat de champ, pour la génératrice du 2e groupe d'excitation, le groupe 2.

2 interrupteurs bipolaires, correspondant respectivement à chacune des deux génératrices de 600 kilowatts ; chacun d'eux avait une capacité de 100 ampères par pôle.

2 interrupteurs unipolaires, qui commandaient respectivement chacun des circuits d'excitation-shunt des deux génératrices de 600 kilowatts ; ils avaient chacun une capacité de 100 ampères par pôle.

2 ampèremètres, qui indiquaient, respectivement pour chacun des deux transformateurs tournants, les valeurs du courant de démarrage.

1 voltmètre pour 600 volts, qui servait à mesurer les voltages aux bornes des génératrices de 600 kilowatts.

Ainsi, relativement à chaque transformateur tournant, pour le démarrage et l'excitation séparée l'on devait fermer à la fois l'interrupteur unipolaire et l'interrupteur bipolaire, et

pour la marche à auto-excitation l'on ne devait fermer que l'interrupteur unipolaire.

3e *panneau.* — Panneau de génératrice de 600 kilowatts. Il portait :

1 rhéostat de champ, qui servait à régler l'excitation de la génératrice.

2 interrupteurs unipolaires, montés respectivement sur chacun des pôles de la génératrice ; ils avaient chacun une capacité de 1 600 ampères.

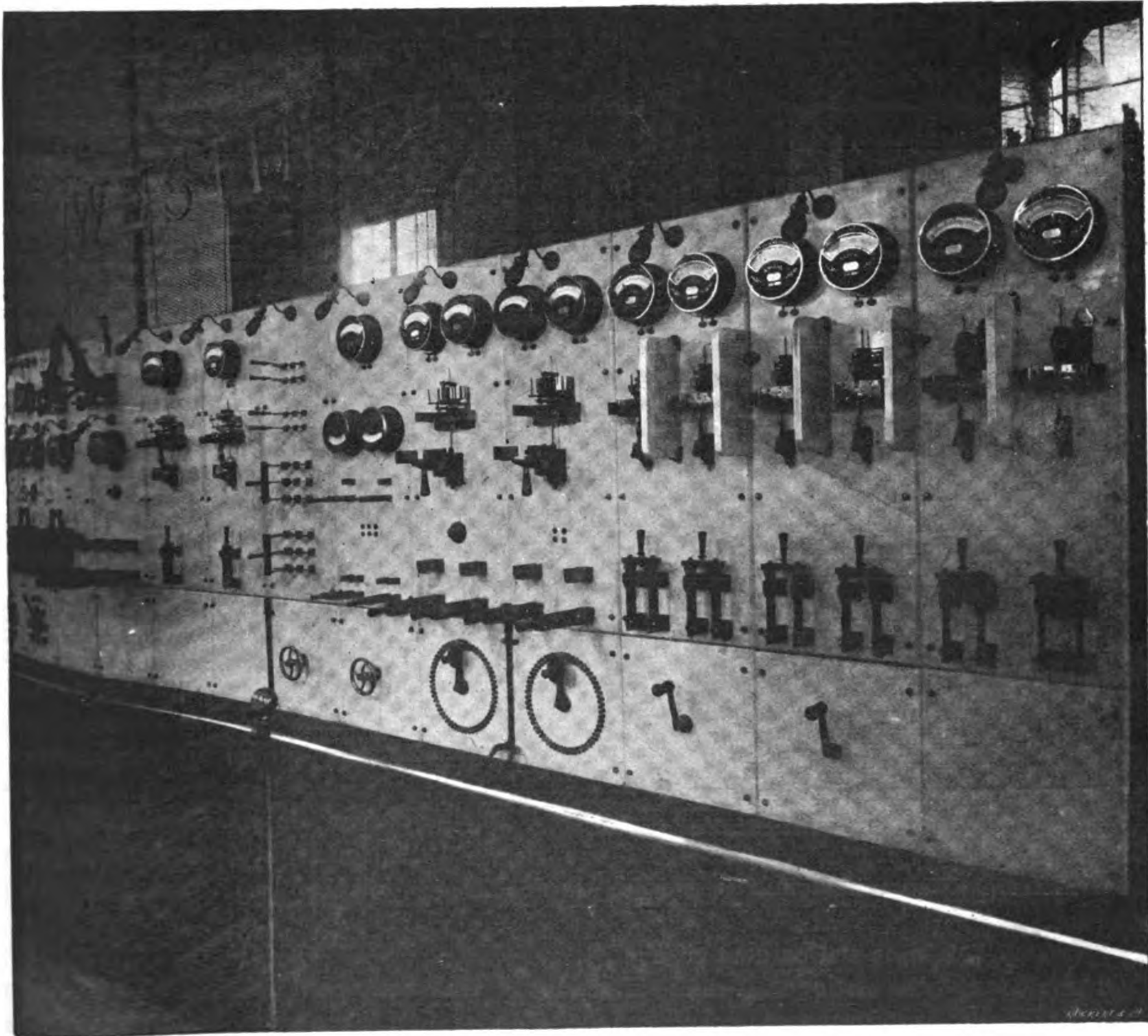


Fig. 75 *bis.* — Vue du tableau de distribution à basse tension.

1 disjoncteur à maxima, à rupture sur charbon et du type à mâchoires monté à la suite de l'un des interrupteurs unipolaires.

2 ampèremètres montés respectivement sur chacun des pôles de la génératrice ; chacun de ces ampèremètres pouvait mesurer jusqu'à 2 500 ampères.

4e *panneau.* — Panneau de génératrice de 600 kilowatts ; identique au 3e panneau.

5e, 6e *et* 7e *panneaux.* — Panneaux de feeders :

Chacun de ces trois panneaux permettait d'alimenter 2 paires de feeders, en désignant

par paire de feeders l'ensemble que formaient un feeder positif et le feeder négatif correspondant. Et, chacun d'eux portait pour chaque paire de feeders :

1 interrupteur bipolaire, d'une capacité de 500 ampères par pôle.

1 disjoncteur à maxima, à rupture sur charbon et du type à mâchoires monté sur le pôle négatif; sa capacité était de 450 ampères.

1 ampèremètre monté sur le pôle négatif, et qui pouvait mesurer jusqu'à 600 ampères.

En outre, les 5e et 6e panneaux portaient chacun, à la base, un rhéostat, qui était formé par la réunion d'un groupe de résistances et d'un contrôleur, et qui servait à commander le démarrage de l'une des génératrices de 600 kilowatts, lorsqu'on la faisait fonctionner comme moteur shunt; chacun des deux contrôleurs correspondait à l'un des deux transformateurs tournants; remarquons que les contrôleurs et les résistances correspondantes étaient respectivement identiques aux contrôleurs et aux résistances qui avaient été montés sur les voitures motrices du chemin de fer.

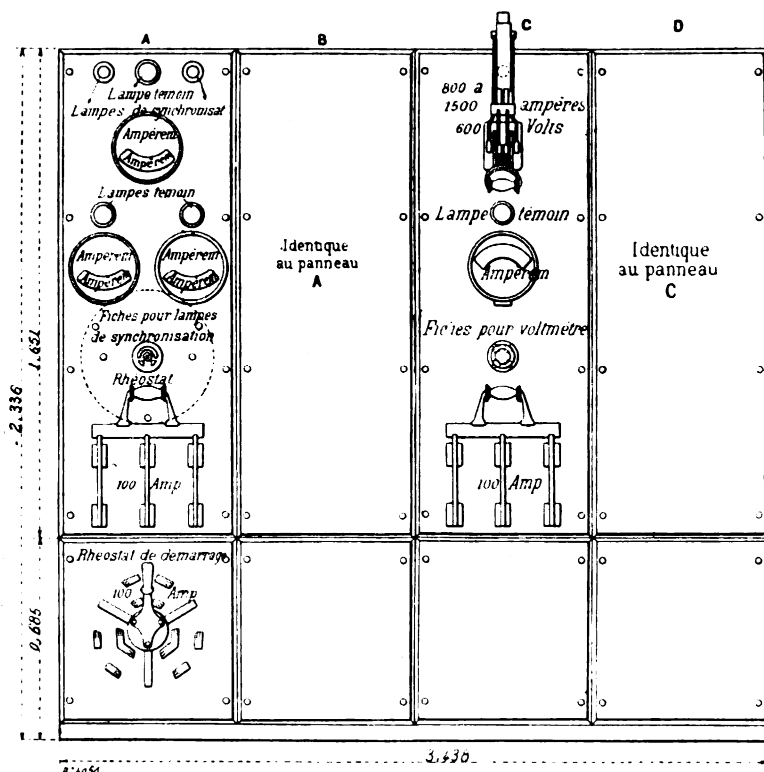


Fig. 76. — Tableau du chemin de fer.

Enfin, sur la face arrière du tableau qui était relatif à la plateforme mobile se trouvaient un wattmètre compteur, qui enregistrait le montant de l'énergie que consommait le service de la plateforme, et deux interrupteurs unipolaires, qui commandaient le service de l'éclairege (derrière le 1er panneau de ce tableau).

En résumé, la sous-station contenait :

6 transformateurs statiques, à refroidissement et isolement par l'huile, de 10 kilowatts chacun ; ils servaient à assurer l'éclairage, de la sous-station, à 110 volts, et à alimenter les moteurs d'induction de 40 chevaux, pour les groupes d'excitation.

2 moteurs d'induction, de 40 chevaux chacun, accouplés directement, et respectivement, à 2 génératrices, de 30 kilowatts chacune, sous 500 volts; chacun des deux groupes ainsi formés pouvait assurer le démarrage, puis l'excitation séparée, de l'une quelconque des deux génératrices de 600 kilowatts.

6 transformateurs statiques, à refroidissement et isolement par l'huile, de 170 kilowatts chacun; ils servaient à alimenter les commutatrices.

2 commutatrices, de 450 kilowatts chacune ; chaque commutatrice était montée sur le même arbre qu'un moteur d'induction, de 40 kilowatts, qui servait à l'amener à une vitesse un peu supérieure à celle de son synchronisme ; ces commutatrices fournissaient le cou-

rant continu qui était utilisé sur la ligne du chemin de fer, pour l'une, et pour la marche continue de la plateforme mobile, pour l'autre.

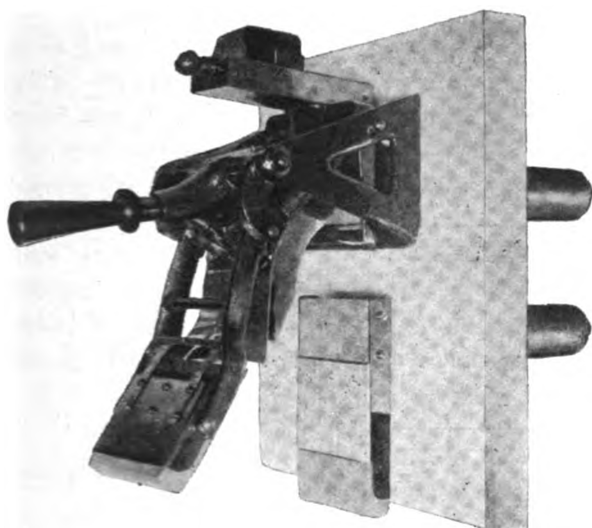


Fig. 77. — Disjoncteur à maximum.

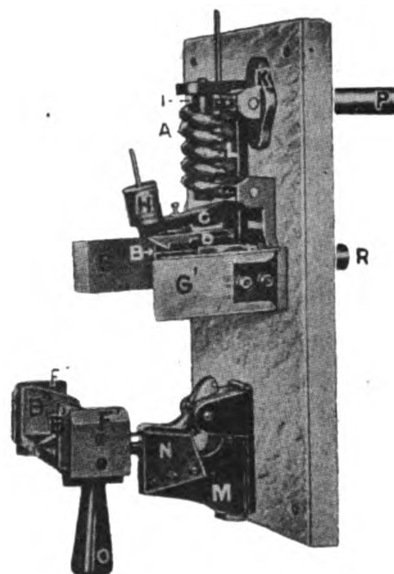


Fig. 78. — Autre disjoncteur à maximum.

A, solénoïde ; B, lames de contact élastiques ; B'B'', lames de contact rigides ; C, armature ; D, cliquet ; F'F'', contacts en charbon ; G'G'', contacts en charbon ; H, poids de réglage ; I, noyau ; K, borne de la bobine ; L, circuit magnétique ; M, base avec ressort ; N, ressort du choc ; O, manche ; P, borne ; R, borne.

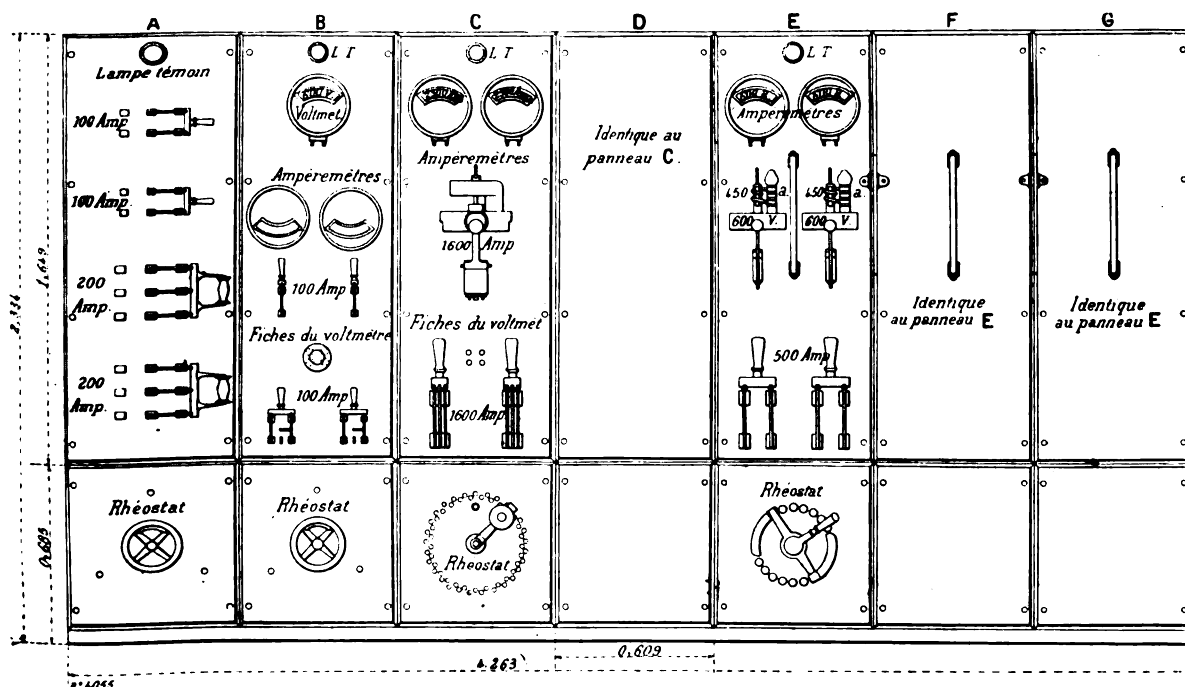


Fig. 79. — Tableau de la plate-forme.

2 moteurs d'induction, de 850 chevaux chacun, accouplés directement, et respectivement, à deux génératrices, de 600 kilowatts chacune, sous 500 volts. Chacun des deux

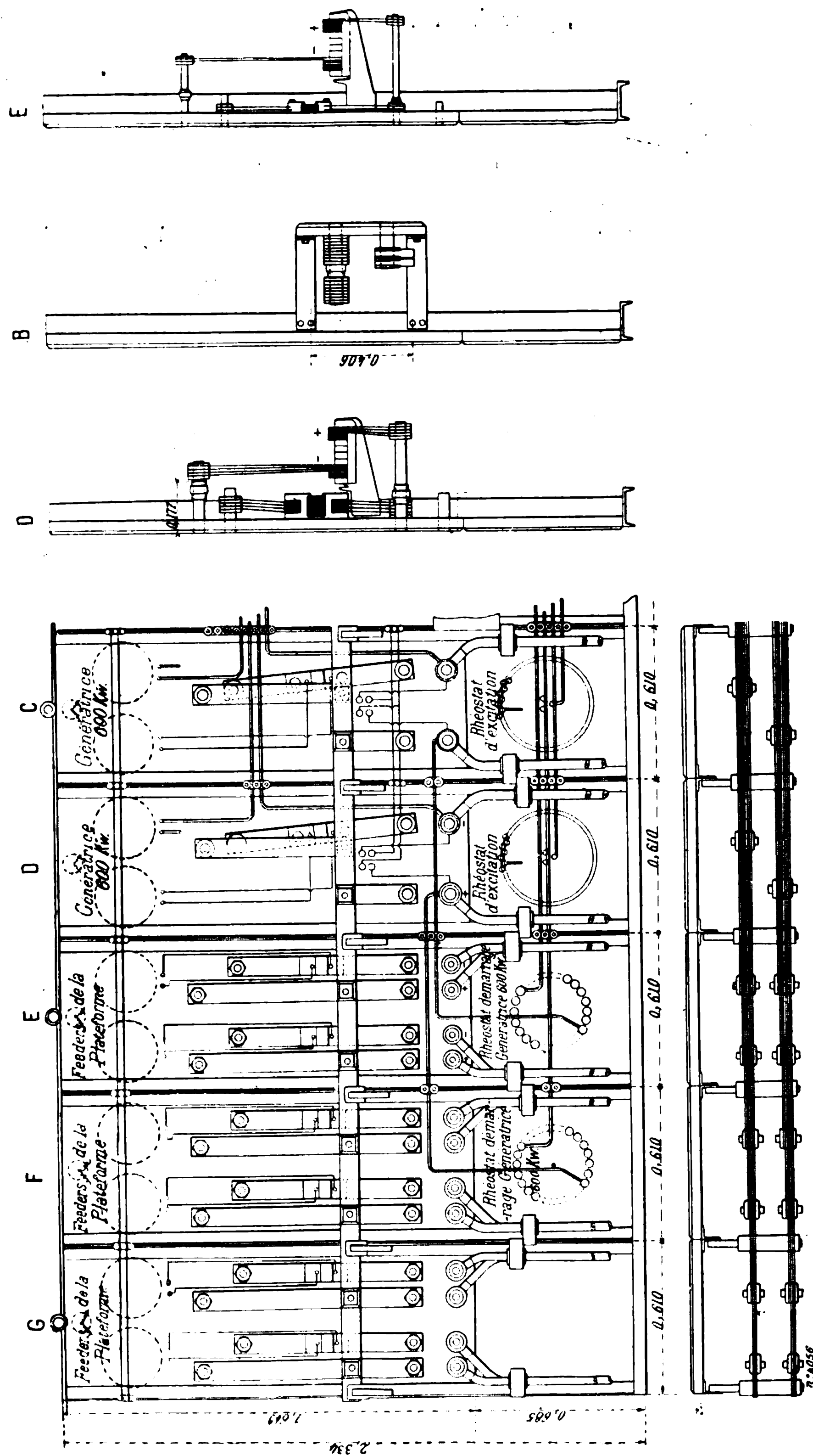


Fig. 80. — Tableau de la plate-forme.

groupes ainsi formés servait à démarrer, et à amener à la vitesse normale de marche, la plateforme mobile. Lui-même était démarré par son côté courant continu, au moyen de courant fourni, en général, par la commutatrice déjà en marche : Lorsque la vitesse du synchronisme avec les courants du réseau à haute tension était atteinte, l'alimentation du courant continu était interrompue, puis les courants triphasés, sous 5000 volts, étaient lancés dans le moteur d'induction. Alors, s'il y avait lieu, on faisait démarrer la plateforme mobile en fermant successivement les disjoncteurs et interrupteurs des feeders correspondants, puis le disjoncteur et l'interrupteur qui commandaient le débit de la génératrice, enfin, en agissant sur le rhéostat de champ de cette génératrice de façon à en élever progressivement le voltage ; la plateforme démarrait pour un débit de 900 ampères sous 180 volts, pour atteindre son régime de marche avec 300 ampères sous 450 volts. La plateforme étant à sa vitesse normale, la génératrice était mise en parallèle avec la commutatrice qui ne travaillait pas sur le service du chemin de fer, puis elle était enlevée du circuit, ce qui reportait toute la charge sur la commutatrice, et cette commutatrice assurait alors, à elle seule, la marche normale de la plateforme.

(*A suivre.*)

H. Tripier.

CANALISATIONS ÉLASTIQUES A COURANTS TRIPHASÉS

Dans le travail suivant nous étudierons la manière dont se comportent les conduites à courants triphasés en cas de charge quelconque et nous montrerons comment cette façon de se comporter doit influencer le calcul des canalisations ou conduites.

L'emploi des diagrammes vectoriels, pour cette étude, offre une difficulté, en ce sens qu'on peut se tromper facilement dans les signes. Pour éluder cette difficulté le plus possible, j'exposerai une considération générale sur la représentation au moyen de vecteurs de ce qui se passe dans les circuits à courant alternatif, particulièrement dans les circuits à courants polyphasés, considération qui justifiera en même temps l'annotation que j'ai choisie pour le diagramme du courant triphasé, qui diffère en partie de l'annotation usuelle.

Diagramme du circuit et diagramme de la conduite.— Le courant alternatif (sinusoïdal) qui parcourt un circuit ou la force électromotrice (sinusoïdale) qui agit sur un circuit, sont généralement représentés par un vecteur, qui tourne autour de son point origine avec une vitesse angulaire constante ; les projections respectives de ce vecteur tournant sur une droite fixe passant, pour mieux faire, par le point de rotation des vecteurs représentent les valeurs instantanées des grandeurs du courant alternatif (voir fig. 1).

La droite a une partie positive et une partie négative ; si la projection du vecteur tombe sur la partie positive, cela signifie que le courant marche dans le sens, ou que la force électromotrice agit dans le sens dans lequel on considère le circuit ; la projection sur le côté négatif représente un courant ou une force électromotrice opposés au sens où l'on observe le circuit. Le diagramme par vecteurs suppose ainsi le choix d'un *sens d'observation du circuit ou d'un sens du circuit.*

Il peut être désirable de changer le sens d'observation dans une portion du circuit. Cela arrive involontairement si l'on a affaire avec le montage en parallèle des récepteurs de courant, et aussi dans le cas très simple où le circuit est constitué par le générateur de courant, par un récepteur de courant situé à une certaine distance et par les conduites de liaison. On a alors l'habitude d'observer l'installation dans la direction allant du générateur au récepteur de courant ; le sens d'observation est donc opposé alors, dans l'une des conduites, au sens du circuit. On effectuera

donc, pour le mieux, le changement du sens d'observation au point milieu du générateur et en celui du récepteur de courant.

Il est important de fixer ces points ; cependant le fait seul qu'on est habitué à attribuer un certain sens non seulement à un circuit, mais aussi à une canalisation, nous donnait sujet, en premier

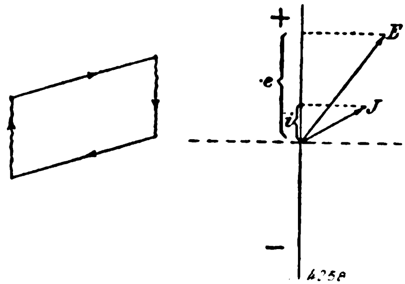


Fig. 1.

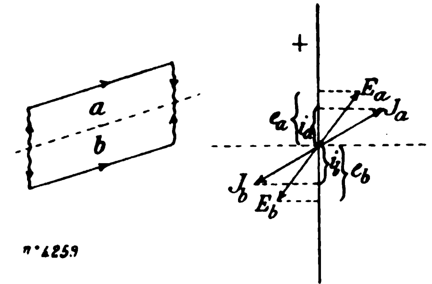


Fig. 2.

lieu, à changer le sens d'observation pour une partie (l'une des moitiés du circuit). Ce premier sens est naturellement dirigé dans le sens des conduites du générateur aux récepteurs ; nous devons l'appeler, par opposition au sens du circuit, *le sens de la conduite*.

L'observation d'après le sens de la conduite offre l'avantage de la symétrie ; les deux conduites paraissent complètement équivalentes et l'on n'a pas à distinguer entre la conduite d'aller et celle de retour. La base fondamentale du sens de la conduite est pour cela particulièrement recommandable pour l'étude des problèmes de conduite.

Mais si l'on prend pour base le sens de la conduite, le diagramme vectoriel se transforme ; de la figure 1 on obtient la figure 2. En effet, si le courant J_a parcourt la conduite *a* dans le sens de l'observation, par suite, est positif, il doit parcourir la conduite *b* dans le sens opposé à l'observation, par suite doit être négatif ; la valeur des courants est naturellement la même et c'est celle de la figure 1.

La force électromotrice se divise, au contraire, en deux moitiés dont les vecteurs sont de nouveau opposés : *Si l'on veut déterminer la force électromotrice agissant dans le circuit, il faut retourner l'un des vecteurs* E_b *ou* E_a *et les additionner l'un avec l'autre. Si l'on veut déterminer le courant traversant le circuit, il faut choisir un des deux vecteurs* J_a *ou* J_b.

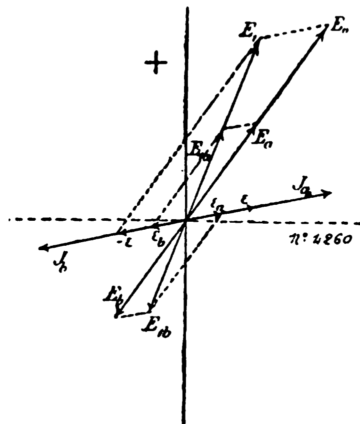


Fig. 3.

A quel vecteur E ajoute-t-on l'autre, inversé, et quel vecteur J laisse-t-on subsister, cela dépend seulement du sens du circuit qui doit être choisi. Il faut envisager la chute de tension [1] de la même manière que la force électromotrice. Elle se décompose en deux parties qui, pour une conduite sans induction et sans capacité, sont en phase avec le courant.

La chute totale de tension se compose des deux parties par l'inversion de l'une et par addition. La composition est effectuée dans la figure 3 en admettant le sens de la conduite *a* comme sens du circuit. E_1 est la tension aux bornes du récepteur de courant. La façon d'obtenir E_1 est indiquée de deux manières, dans la figure, au moyen de la tension du générateur et de la chute de tension : d'abord, des vecteurs E_a et E_b on retranche les chutes de tension respectives ε_a et ε_b, par suite on ajoute $-\varepsilon_a$ $(=\varepsilon_b)$ et $-\varepsilon_b$ $(=\varepsilon_a)$, et les différences E_{1a}

[1] Au lieu d'employer le mot habituel « perte de tension » on dira toujours, pour une raison qu'on donnera plus loin, « chute de tension ».

et E_{1b} obtenues sont additionnées pour donner E_1 ; d'une autre manière on combine d'abord ε_a et $-\varepsilon_b$ pour avoir ε et on retranche ε de E_0, c'est-à-dire on ajoute $-\varepsilon$, on obtient aussi E_1.

Pour différencier nominativement l'une de l'autre les deux manières de représenter les choses caractérisées par la figure 1 et la figure 2, on doit appeler brièvement la première, fondée sur le diagramme vectoriel du circuit, *diagramme du circuit* et les vecteurs dessinés, *vecteurs du circuit*, alors que la deuxième manière doit être appelée *diagramme de la conduite* et ses vecteurs, *vecteurs de la conduite*.

Il est recommandable, dans tous les cas compliqués, de dessiner avec le projet du diagramme le schéma de la conduite avec la flèche indiquant le sens de l'observation, comme cela a été fait dans les figures 1 et 2.

Dessinons le diagramme de la conduite ; dans ce cas, non seulement la façon de représenter, mais aussi toute la façon de concevoir le circuit est devenue tout autre. Nous n'avons plus là à faire avec *un* courant et *une* force électromotrice, mais avec 2 courants et 2 forces électromotrices, qui chacun sont décalés l'un par rapport à l'autre de l'angle π ; le système monophasé est devenu un système *biphasé*.

Dans le cas du système triphasé avec montage en étoile, nous sommes depuis longtemps habitués à représenter la façon dont les choses se passent au moyen de diagrammes de conduites et de passer de ceux-ci aux diagrammes de circuit, quand cela est nécessaire. Mais remarquons qu'au point de vue rigoureux, nous ne sommes en droit de parler d'un courant triphasé, dans le cas de courant tournant avec montage en étoile, que si nous désignons en même temps le courant alternatif ordinaire comme courant biphasé. Conformément à cette règle le système dénommé jusqu'à présent système biphasé devrait être désigné comme système tétraphasé et le système à courant tournant avec montage en triangle devrait être appelé hexaphasé, car il se compose de 3 systèmes monophasés complets.

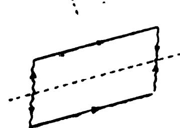


Fig. 4. — Système diphasé.

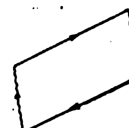


Fig. 5. — *Système monophasé.*

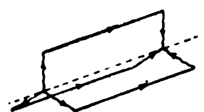


Fig. 6. — *Système triphasé.*

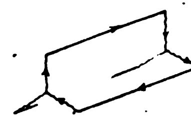


Fig. 7. — Système à 3 demi phases.

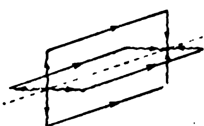


Fig. 8. — Système tétraphasé.

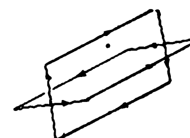


Fig. 9. — *Système diphasé.*

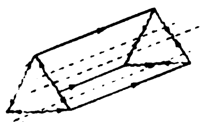


Fig. 10. — Système hexaphasé.

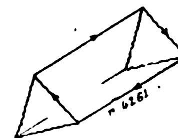


Fig. 11. — *Système triphasé.*

Nous avons dessiné dans les figures 4 à 11 les schémas des différents systèmes d'après les deux sortes de façons de représenter, nous avons marqué les noms respectifs et les noms situés verticalement l'un au-dessous de l'autre vont ensemble ; en outre les noms imprimés *en italiques* dans les deux colonnes sont usités.

Nous sommes habitués à étudier les différents systèmes d'une façon différente ; en effet, nous avons l'habitude de représenter le système triphasé en étoile au moyen de diagrammes de conduite, le système monophasé au contraire avec des diagrammes de circuit, le système triphasé monté en triangle enfin, sous le rapport des générateurs par des vecteurs de circuit, sous le rapport des conduites par des vecteurs de conduites ; c'est cette manière de faire qui a provoqué maintes erreurs, même dans les meilleures publications. Pour éviter de telles erreurs, dans l'étude des problèmes des canalisations à courants triphasés, pour lesquels nous prendrons toujours pour base la représentation au moyen du *diagramme des conduites*, nous ferons la comparaison avec le système monophasé représenté par le diagramme de conduite. Il est encore plus avantageux, dans beaucoup de cas, de faire la comparaison avec le courant continu.

*****

Les quantités des circuits à courant continu peuvent être aussi représentées par des vecteurs (évidemment non tournants), car elles ont une grandeur, une direction et un sens de direction. Une distance de longueur déterminée, mesurée à une échelle déterminée, représente le courant dans un circuit ; cela correspondrait au diagramme de circuit. D'après ce mode de représentation, la figure 12 correspond au diagramme de conduite. Dans la figure, on a aussi indiqué les chutes de tension ε_a et ε_b, qui se combinent par l'addition de l'une des chutes de tension inversée avec l'autre pour obtenir la vraie chute totale ε.

Cette façon de représenter les choses doit, outre la comparaison envisagée, avoir aussi son intérêt pour la considération à part du système à 3 conducteurs et pour la comparaison de celui-ci avec le système triphasé.

Dans l'étude des conduites triphasées, qui va suivre maintenant, je vais montrer que toutes les

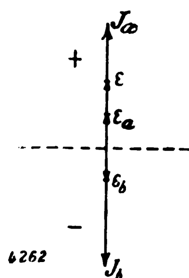
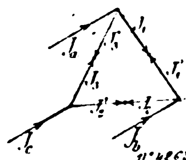
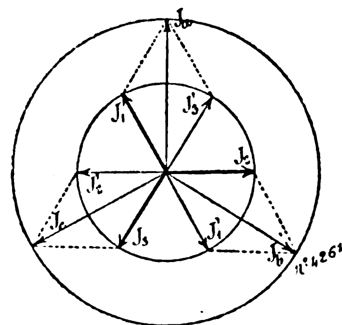


Fig. 12.


Fig. 13.


Fig. 14.

grandeurs doivent être représentées par des vecteurs tournants autour du même point de rotation. La façon de représenter les choses qui consiste en ce que les vecteurs du courant ou de la tension, dans le cas du montage en triangle, forment un triangle, me paraît trop sujette à amener des erreurs et n'offre, à mon avis, aucun avantage.

Conduites triphasées dans le cas du montage en triangle des récepteurs de courant. — Nous prendrons pour base de tous les diagrammes, dans les considérations suivantes, le sens de la conduite et, s'il faut déterminer les quantités donnant la mesure pour le circuit, nous passerons alors, par l'inversion de certains vecteurs, au sens du circuit.

Au système à courant tournant, qui apparaît comme système hexaphasé dans le cas du montage en triangle des récepteurs de courant, correspond le schéma de la figure 13 et le diagramme vectoriel de la figure 14. Dans ce dernier, les vecteurs des courant J_1, J_2 et J_3 sont mis en évidence par des lignes plus fortes, pour les distinguer comme courants qui n'ont de la valeur que si nous passons au sens du circuit. Les autres vecteurs du courants disparaissent, comme on l'a montré dans le système monophasé (voir fig. 2). Comme choix du sens de l'observation des 3 circuits, la seule loi sur laquelle on doit se baser est que le diagramme doit rester symétrique. Si l'on ne considérait pas cela comme important, on pourrait laisser subsister aussi les vecteurs J_1, J_2 et J'_3 ou d'autres combinaisons. — Les courants de conduites J_a, J_b et J_c s'obtiennent par simple addition graphique des courants de charge J_1 et J'_3, J_2 et J'_1, J_3 et J'_2. Il est connu que

$$J_a = J_b = J_c = \sqrt{3}\, J_1,$$

dans le cas où tous les courants de charge sont égaux.

On suppose connue la façon dont sont produits les courants sous l'influence des tensions aux bornes du générateur, qui sont connues en grandeur et en phase et admises comme invariables. Relativement à l'influence que les conduites exercent sur les courants d'après leur résistance, nous ne ferons pas la moindre attention quant à présent, nous ferons plutôt une hypothèse qui est tout

à fait commode grâce à l'étude des conduites à courant continu et qui doit être mise en évidence maintenant ici. L'hypothèse est celle-ci : *Dans tous les récepteurs de courant il passe toujours les courants qui doivent les parcourir d'après leur construction et leur puissance*, par suite les courants qui les traversent, si la tension pour laquelle ils sont construits agit à leurs bornes.

Cette loi, d'après laquelle les courants dans les récepteurs de courant, c'est-à-dire les courants de charge, sont une quantité donnée, formait déjà, lors des conduites à courant continu la base fondamentale de la loi essentielle de la superposition des courants, en tant que les courants de charge *connus* se combinaient, d'après elle, avec les courants de conduite.

On considérait déjà, dans le cas des conduites à courant continu, la chute de tension comme sans influence sur le courant dans les récepteurs de courant, il arrive donc, dans le cas des conduites à courant alternatif que, *même des décalages de phases accidentels*, *qui pourraient être provoqués par les conduites*, *sont négligeables*. La justification de cette hypothèse sera donnée plus tard.

Calcul des conduites en cas de charge égale des phases. — Pour les considérations ultérieures il est nécessaire d'entrer plus profondément dans l'établissement de quelques formules connues.

Ce qui nous donne la mesure pour tous les calculs de conduites c'est d'abord *la perte de puissance*, qui est considérée comme admissible dans le cas d'une puissance donnée à transmettre. La chute de tension est une conception de déduction avec laquelle on ne doit pas opérer dans les conduites à courant alternatif sans plus d'explications. Cependant il sera bon d'introduire aussi cette conception pour pouvoir mieux comparer les formules avec celles des conduites à courant continu. Nous calculerons naturellement alors avec la valeur moyenne de la perte de puissance, comme nous sommes habitués en général à le faire pour des puissances alternatives, et nous aurons par suite l'avantage de pouvoir ne tenir compte d'aucune phase possible ([1]).

Supposons une égale charge sur les 3 phases et cela à une distance déterminée L des bornes des machines. On a alors

$$J_1 = J_2 = J_3$$

et aussi par suite :

$$J_a = J_b = J,$$

La perte de puissance dans les 3 conduites est

$$e = 3 J_a^2 R,$$

si J_a représente la valeur effective des 3 courants de conduite qui sont égaux. De là on tire pour la section Q de la conduite

$$Q = \frac{3J_a^2 L}{e} \rho ;$$

comme il est désirable de revenir aux courants de charge, ce qui se fait par la relation

$$J_a = \sqrt{3} J_1,$$

on a donc

(1) $$Q = \frac{9J_1^2 L}{e} \rho$$

Si l'on veut, ce qui arrive fréquemment, calculer la section au moyen de la puissance donnée,

([1]) La perte de puissance est d'abord, naturellement, une fonction du temps et a, comme telle, une phase déterminée.

il faut introduire celle-ci au moyen de la relation

$$J_1 = \frac{W}{3E \cos \varphi}$$

dans laquelle cos φ est le facteur de conduite égal pour les 3 phases. Si l'on pose pour e encore la perte en p. 100. de W, on a par exemple

$$e = \frac{p}{100} W;$$

on obtient alors l'équation connue

(2 *a*) $$Q = 100 \frac{W}{E^2 \cos^2 \varphi} \frac{L\rho}{p}$$

ou, pour des conduites en cuivre,

$$Q = 175 \frac{W_{hw}}{E^2 \cos^2 \varphi} \frac{L}{p},$$

si l'on pose $\rho = 0{,}0175$ ohm (par mètre et millimètre carré) et si la puissance est mesurée en hectowatts. Ces équations sont recommandables si les récepteurs de courant sont des *moteurs à champ tournant.*

Introduisons la chute de tension à la place de la perte de puissance ; nous obtenons alors, dans le cas de conduites sans induction et sans capacité, comme chute de tension dans les conduites mêmes, les valeurs

$$\varepsilon_a = \varepsilon_b = \varepsilon_c = J_a R.$$

Pour ces vecteurs, l'échelle est choisie de manière qu'ils soient égaux aux vecteurs des courants J_a, J_b et J_c ; on évitera de cette façon beaucoup de lignes inutiles. Les vecteurs sont naturellement des *vecteurs de conduite.* Pour déterminer les chutes de tension efficaces des récepteurs de courant respectifs, passons à l'observation des circuits, nous devons alors inverser chaque fois un des vecteurs ε_a, ε_b, ε_c (voir fig. 3 et 12) et l'ajouter à un autre. De cette manière nous obtenons pour le circuit du courant J_1 la chute de tension

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_a \frown \varepsilon_b$$

de même

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_b \frown \varepsilon_c$$

et

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_c \frown \varepsilon_a$$

dans ces expressions les signes $\frown$ doivent désigner l'addition graphique ou la soustraction. Le calcul est effectué dans la figure 15 et l'on a

$$\varepsilon_1 = \sqrt{3}\, \varepsilon_a$$

etc. De là il résulte

$$\varepsilon_1 = \sqrt{3} J_a R = 3 J_1 R.$$

ou

(3) $$Q = \frac{3 J_1 L}{\varepsilon_1} \rho.$$

Ici J_1 est le courant de charge d'une phase, 3 J_1 par suite est le courant total en circuit, L la distance à laquelle la machine se trouve et ε_1 la diminution de tension que chaque récepteur de courant supporte, si son courant varie de o jusqu'à sa valeur maxima $J_1 = J_2 = J_3$. ε_1 correspond alors à la chute de tension ε [1], que nous posons comme chute de tension élastique dans l'équation

[1] Cette désignation pour la chute de tension, qui doit être admise si les conduites doivent être élastiques, c'est-à-dire ne doivent pas avoir d'influence marquée sur le fonctionnement des récepteurs de courant, est très admissible.

analogue pour le calcul des conduites élastiques du système à 2 conducteurs à courant continu ou à courant alternatif sans induction et nous pouvons comparer les sections et les quantités de métal des deux systèmes (triphasé avec montage en triangle et système à 2 conducteurs) en maniant le mieux possible les dernières formules et les formules du système à 2 conducteurs.

Si l'on doit transporter à la distance L la même puissance, par suite le courant utilisé 3 J_1, on a alors, dans le système à 2 conducteurs

$$Q_{2l} = \frac{3J_1 \times 2L}{\varepsilon_1} \rho$$

et

$$Q_\Delta : Q_{2l} = 1 : 2$$

et comme rapport des quantités de métal on a

$$M_\Delta : M_{2l} = 3 : 4 = 75 : 100, \tag{4}$$

car le système à champ tournant a nécessairement 3 conduites.

Mais ces relations ne sont valables que si ε_1 est l'oscillation maxima de tension, qu'un récep-

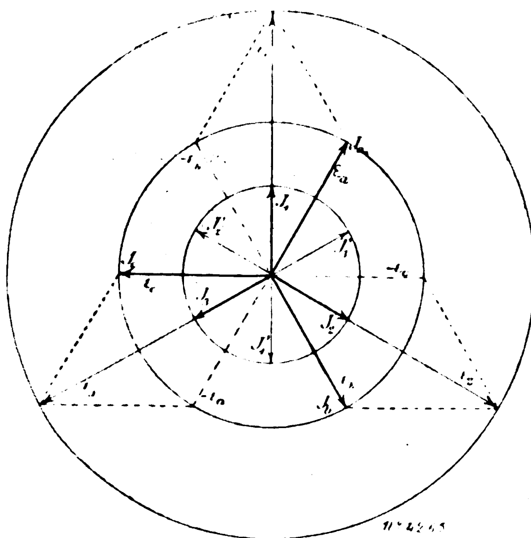


Fig. 15.

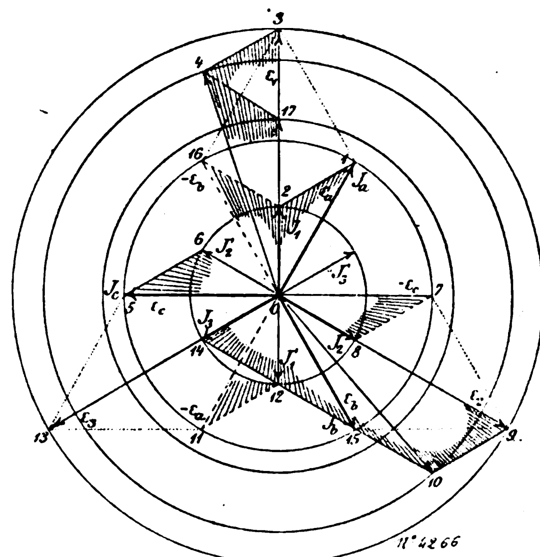


Fig. 16.

teur de courant a à supporter même dans un cas défavorable, par suite dans le cas de variations de charge tout à fait quelconques; si ce cas se produit, on doit encore rechercher :

L'influence des différences de charges des 3 phases. — On pourra se pénétrer de suite du bien fondé et de la nécessité de nous poser cette question si nous nous rappelons que dans le premier système à plusieurs conducteurs connu, le système à 3 fils, il peut se produire de plus grandes oscillations de tension, qu'il ne s'en produit lors d'une variation de la charge depuis o jusqu'au maximum, en supposant constamment une charge égale dans les deux moitiés du système. Nous avons ainsi à rechercher comment les chutes de tension des récepteurs de courant varient quand ce n'est pas toutes les charges qui varient, mais quelques-unes et nous voulons faire cette recherche en partant de la charge maxima uniforme et en faisant décroître ensuite les charges respectives. Nous insisterons encore une fois sur ce que les courants de charge dans les récepteurs de courant doivent être considérés comme donnés (variables arbitrairement) et l'influence de la chute de tension, qui variera d'après la grandeur et la phase du courant, doit être considérée comme négligeable.

Toutes les variations sont effectuées dans le diagramme de la figure 16 et l'on a admis que d'abord J_3 doit baisser de sa valeur maxima à o et que J_2 doit au surplus baisser de la même façon.

Il faut d'abord, dans la figure 16, n'embrasser d'un coup d'œil que les vecteurs contenus dans la figure 15, qui représentent les faits en faisant abstraction de notre considération. Comme schéma de conduite pour lequel le diagramme est valable, il faut se remémorer la figure 13. Au moyen de ce schéma, on reconnaîtra d'abord qu'une disparition de J_3 doit changer la chute de tension dans les conduites a et c, par suite toutes les chutes de tension pour les récepteurs de courant, c'est-à-dire ε_1, ε_2 et ε_3. Cela peut être déduit facilement de la figure ; considérons d'abord ε_1 : si J_3 (par suite aussi J'_3) tombe à o, l'extrémité du vecteur J_a se déplace de 1 vers 2, mais l'extrémité du vecteur ε_a identique avec J_a se comporte aussi de la même manière ; J_b et ε_b restant les mêmes, l'extrémité de ε_1 doit dont se déplacer de 3 vers 4.

On doit conclure d'une manière tout à fait semblable que l'extrémiié de J_c, par suite aussi de ε_c, se déplace de 5 vers 6. Mais ε_2 se compose de $\varepsilon_b - \varepsilon_c$, car pour le circuit du deuxième récepteur de courant le sens de conduite b est resté et $-\varepsilon_c$ s'est déplacé de 7 vers 8. A cela correspond le déplacement du vecteur ε_2 de 9 jusqu'à 10. Pour le troisième récepteur de courant même, la variation de la chute de tension ε_3 se compose des variations simultanées de ε_c et de $-\varepsilon_a$.

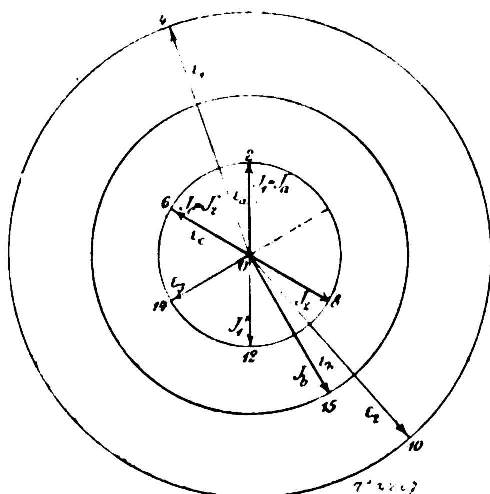


Fig. 17.

Le mouvement du dernier vecteur $-\varepsilon_a$ est désigné par les nombres 11 et 12 dans la figure, le mouvement de ε_3 par les nombres 13 et 14.

En diminuant J_3 jusqu'à o, le diagramme passe de la forme initiale (fig. 15) à celle de la figure 17 qu'on a encore une fois dessinée à part pour la clarté.

En outre laissons maintenant J_2 décroître jusqu'à o. Le schéma de conduite figure 13 fait voir que, de cette manière, seuls les courants et les chutes de tension dans les conduites b et c sont touchés. J_b perd la composante J_2, l'extrémité 15 se déplace ainsi vers 12 et corrélativement la valeur négative de J_b ou ε_b va de 16 vers 2. L'extrémité de ε_1 revient par suite de 4 vers 17. Au contraire ε_2 doit évidemment parcourir une grande variation, parce que J_2 et par suite J'_2 prend part à ε_b et ε_c.

Tandis que ε_b se déplaçait de 15 vers 12, $-\varepsilon_c$ allait en même temps de 8 vers o, car J_c est maintenant égal à o ; ε_2 s'est donc déplacé de 10 vers 12. Finalement pour ε_3 il en résulte que son extrémité doit se mouvoir de 14 vers 12, car de ses composantes ε_c et $-\varepsilon_a$ (désignées par les nombres 6 et 12) $-\varepsilon_a$ reste seul.

Le diagramme qui reste finalement, qui par suite est valable pour la charge J_1 seule, est dessiné à part encore une fois dans la figure 18. Le diagramme est confirmé par l'observation du schéma de la conduite, J_2 et J_3 sont égaux à o, la chute de tension totale qui se produit pour J_1, dans les deux conduites, est égale au vecteur $\overline{o\,17}$; par suite, la moitié de cette perte se produit dans le circuit J_2 et J_3 comme chute de tension et cela dans la direction opposée.

On peut déduire ici, comme résultat important, d'abord *que les oscillations de la tension en cas de variations de charge quelconques ne peuvent être jamais plus grandes que la valeur de la chute de tension, qui a été prise pour base du calcul en admettant une charge parfaitement égale des trois phases.*

On veut dire par là que les vecteurs ne dépassent jamais le cercle extérieur dans la figure 16 et que les chutes de tension n'ont jamais une valeur négative.

L'allégation contenue dans ces derniers mots a encore besoin d'une explication plus rigoureuse et d'une preuve. Dans les circuits alternatifs, il n'est pas simple de différencier la chute de tension positive et négative comme dans les conduites à courant continu où la chute est positive,

si la tension tombe dans la direction du courant et inversement. Dans le cas des courants alternatifs, on peut parler non seulement de direction égale et opposée du courant et de chute de tension, c'est-à-dire des décalages de phase 0 et π, mais aussi de la possibilité d'avoir des angles de décalage quelconques. Mais la perte de puissance, à laquelle il faut toujours revenir n'est évidemment pas formée par le produit du courant et de la chute de tension, mais par $J\varepsilon$ *cos* (J, ε).

Pour faire ressortir d'une manière particulièrement importante la quantité qui, multipliée par le courant dans le récepteur de courant, donne la perte de puissance considérée dans celui-ci, nous l'appellerons perte de tension [1] pour le récepteur de courant (en opposition avec chute de tension). Au moyen des figures 16 jusqu'à 18 on peut voir maintenant que le décalage de phase entre chute de tension et courant est tout au plus 60° ; la perte de tension est donc toujours positive, c'est-à-dire que la projection de la chute de tension sur le vecteur du courant tombe toujours dans la direction (positive) de ce vecteur.

Démonstration ayant pour but de prouver que les courants consommés peuvent être considérés comme donnés en grandeur et en phase. — C'est ici le moment de prouver que l'hypothèse qu'on a toujours faite jusqu'à présent, c'est-à-dire celle qui consiste à supposer que les courants opposés en grandeur et en phase à la tension aux bornes du générateur, sont ceux qui sont propres au récepteur de courant d'après sa construction, est juste. Nous admettrons d'abord ici que les conduites et les récepteurs de courant soient sans induction.

Si les trois phases sont également chargées, la chute de tension tombe dans la direction des courants de consommation (voir fig. 15) ; la complication avec le décalage de phase n'a plus lieu et nous pouvons immédiatement comparer les relations avec celles qui se présentent dans le cas du courant continu. On sait [2] que la faute commise dans de pareilles conduites en supposant les courants connus consiste seulement en ce que la section de la conduite est trop grande d'autant de pour cent que la perte de tension s'élève en pour cent de la tension utile. Dans le cas de conduites élastiques, l'hypothèse des courants connus qu'on a faite est par suite absolument admissible ou en d'autres termes : la perte de puissance qui se produit effectivement est égale, avec une approximation suffisante, au courant utilisé connu multiplié par la perte de tension calculée avec lui.

Il y a lieu de se demander encore maintenant, si des décalages de phase tels qu'ils se présentent dans le cas de charge inégale des trois phases peuvent être importants, par le fait que la chute de tension est décalée d'un certain angle λ par rapport au courant consommé. Il faut donc prouver que la vraie perte de puissance est redonnée avec une suffisante approximation par l'expression

$$\varepsilon J \cos \lambda$$

si ε et λ sont déterminés au moyen des courants connus des récepteurs de courant.

Pour le prouver, prenons le cas le plus défavorable relativement au décalage de phase, celui de la différence de charge ; admettons que deux courants sont nuls, tandis que le troisième possède sa valeur maxima comme cela est indiqué dans la figure 18. Dans ce cas, l'angle λ pour la charge J_2 (ou aussi J_3) qui est nulle ou mieux très petite, est $\lambda = 60°$. Il est clair maintenant que le *vecteur* o 12 représente, dans toutes les circonstances, la chute de tension ε_2 pour le circuit de J_2 quelle que soit la phase des courants J_2 et J_3 (très petits) car ε_2 et ε_3 doivent, comme la considération du schema de conduite l'apprend, être la moitié de ε_1 et doivent être décalées de π par rapport à celle-ci. Les tensions du générateur (voir fig. 19) E_{01}, E_{02}, E_{03} sont égales et décalées l'une par rapport à l'autre de $\frac{2\pi}{3}$. De E_{02} et E_{03} il faut déduire $\varepsilon_2 = \varepsilon_3$, comme on l'a fait du diagramme 18, (naturellement avec une autre échelle) ; nous obtenons alors E_2 et E_3 comme tensions aux bornes

(1) La vraie perte de puissance dans la conduite n'est naturellement pas, en cas de courants triphasés, la perte de puissance pour le récepteur de courant considéré, mais celle-ci est la composante de la vraie perte de puissance dans la direction du courant utilisé.

(2) Voir l'ouvrage de l'auteur : « Les canalisations électriques » que va publier bientôt la librairie Béranger, de Paris.

des récepteurs de courant et dans leur direction les courants J_2 et J_3. On peut voir alors que l'angle (ε_1 J) pour les circuits J_2 et J_3 n'est plus λ, mais est devenu $= \lambda + \delta$, la perte de puissance est donc

$$\varepsilon_2 J_2 \cos(\lambda + \delta) \pm \varepsilon_2 J_2 \cos \lambda.$$

On peut maintenant facilement prouver que δ est très petit dans le cas de conduites élastiques; par exemple, pour une perte maxima de tension $\varepsilon\, max = 3$ p. 100 environ, $\delta = 30'$ seulement. Et

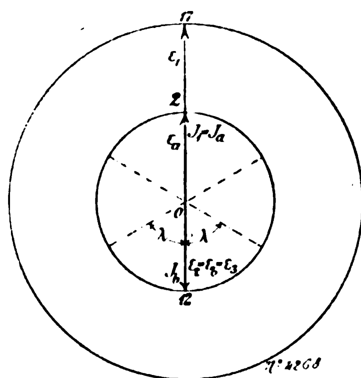


Fig. 18.

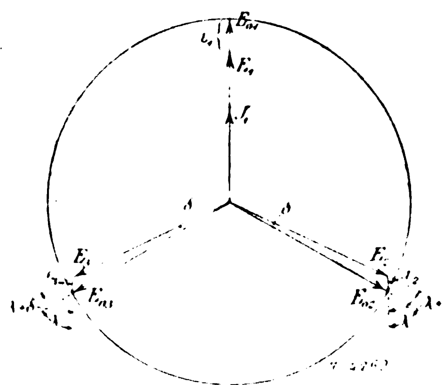


Fig. 19.

la différence entre *cos* (60° 30') et *cos* 60° n'est que de 1,5 p. 100 environ. Le décalage de phase est ainsi sans importance pour les conduites.

L'angle δ dessiné dans la figure 19 est maintenant évidemment le plus grand, pour lequel J_2 ou J_3 peuvent être décalés par rapport à leurs tensions aux bornes du générateur; ce δ est atteint quand

$$J_2 = J_3 = 0$$

et il est égal à o si

$$J_2 = J_3 = J_1.$$

Dans ces deux cas limites, toutes les chutes de tension sont indépendantes en grandeur et en phase de la phase des courants; dans tous les autres cas il se produit de petites variations, mais qui, — comme on n'a pas besoin de le prouver d'une façon détaillée ici — sont sans importance.

Que toutes les considérations établies s'appliquent aussi pour des récepteurs de courant inductifs, cela n'a qu'à peine besoin d'une démonstration particulière, car les diagrammes ne subissent, par ce fait, qu'une rotation de l'étoile des vecteurs des forces électromotrices vers l'étoile des vecteurs des courants et des chutes de tension qui est égale à l'angle du décalage de phase φ. La perte de puissance est, après comme avant, donnée par l'expression

$$\varepsilon J \cos \lambda.$$

(*A suivre*).

Prof. Dr J. Teichmüller.
Karlsruhe.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

La commutation dans les dynamos modernes, par **H.-M. Hobart.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 868, 17 octobre 1901.

L'auteur étudie l'influence de la tension normale d'une dynamo sur les dimensions à donner à cette machine, pour obtenir une bonne commutation.

Entre deux machines de même puissance et de même vitesse, construites l'une pour 500 volts et l'autre pour 100 volts, il doit exister autant de différence dans le dessin, qu'entre deux dynamos de puissances différentes, et de même tension. On trouve rarement des machines à basse tension dont le collecteur soit bien dimensionné en considération du refroidissement, et des machines à haute tension suffisamment isolées. Souvent on se contente, dans les dynamos à haute tension, d'admettre des pertes plus élevées dans le fer et dans le cuivre, ainsi qu'une plus grande vitesse, pour compenser l'espace absorbé par les isolants, sur l'inducteur et sur l'induit. Cette tendance est justifiée, en de certaines limites, par la nécessité d'aboutir à une construction économique : l'auteur expose ici une façon de procéder plus rationnelle et conduisant cependant à des prix de revient fort avantageux.

Les machines d'égale puissance, et de même vitesse correspondent à un même travail mécanique et doivent naturellement avoir les fondations, le bâti, les paliers et l'arbre identiques pour toutes les tensions, ce qui n'est nullement en contradiction avec les exigences d'ordre électrique et magnétique, comme nous le verrons plus loin.

En premier lieu, l'élément important pour une bonne commutation réside non dans une faible réaction d'induit (ampère-tours induits par pôle), mais dans une faible tension de réactance (tension induite dans une section aboutissant à deux lames voisines du collecteur, pendant le court-circuit), à tel point qu'on peut sans crainte choisir une réaction d'induit aussi forte que possible, s'il doit en résulter une économie dans la construction et une faible tension de réactance.

Dans les machines à haute tension, c'est la plus faible épaisseur admise pour une lame de collecteur qui limite le nombre de sections, le diamètre du collecteur étant lui-même déterminé par la force centrifuge. D'ailleurs le collecteur d'une telle machine n'a pas tendance à s'échauffer, étant parcouru par de faibles courants, et ne prend qu'une petite partie de l'espace disponible entre les paliers : il reste donc une grande place disponible pour l'induit, ce qui permet, en augmentant sa largeur, de lui donner un plus petit nombre d'ampère-tours par pôle.

Si le diamètre du collecteur est limité par la force centrifuge, on est obligé de donner aux dynamos à haute tension un nombre de pôles plus faible, de façon à pouvoir mettre un nombre de spires suffisant par section [1] ; le collecteur qui en résulte est encore très court; tandis que dans les machines à basse tension, il faut augmenter le nombre de pôles, pour ne pas allonger outre mesure le collecteur.

On est ainsi amené à choisir un même diamètre de collecteur, suffisamment grand pour toutes les tensions, pour les machines de même puissance et de même vitesse et dont la longueur sera d'autant plus grande qu'il s'agira d'une machine à plus basse tension : par ce grand diamètre, on assurera un bon refroidissement dans les machines à basse tension, et un nombre suffisant de lames (d'où une plus faible tension de réactance) dans les machines à haute tension.

En résumé, pour des dynamos de même puissance et de même vitesse, mais de tensions différentes, on adoptera le même diamètre pour la culasse et l'alésage des pôles, le collecteur et les tôles d'induit : les différences porteront sur la largeur de tout le circuit magnétique (culasse et noyaux polaires, noyau induit), le nombre

[1] N. d. T. — Ces considérations supposent que la dynamo est enroulée en parallèle ou en série-parallèle, et ne s'appliquent pas au cas de l'enroulement série.

des dents, des lames et des pôles et l'enroulement.

Le bâti, les paliers et leur écartement, l'arbre, restant les mêmes, les mêmes modèles serviront pour les différentes machines; quant aux parties variables, inducteur, induit, collecteur et

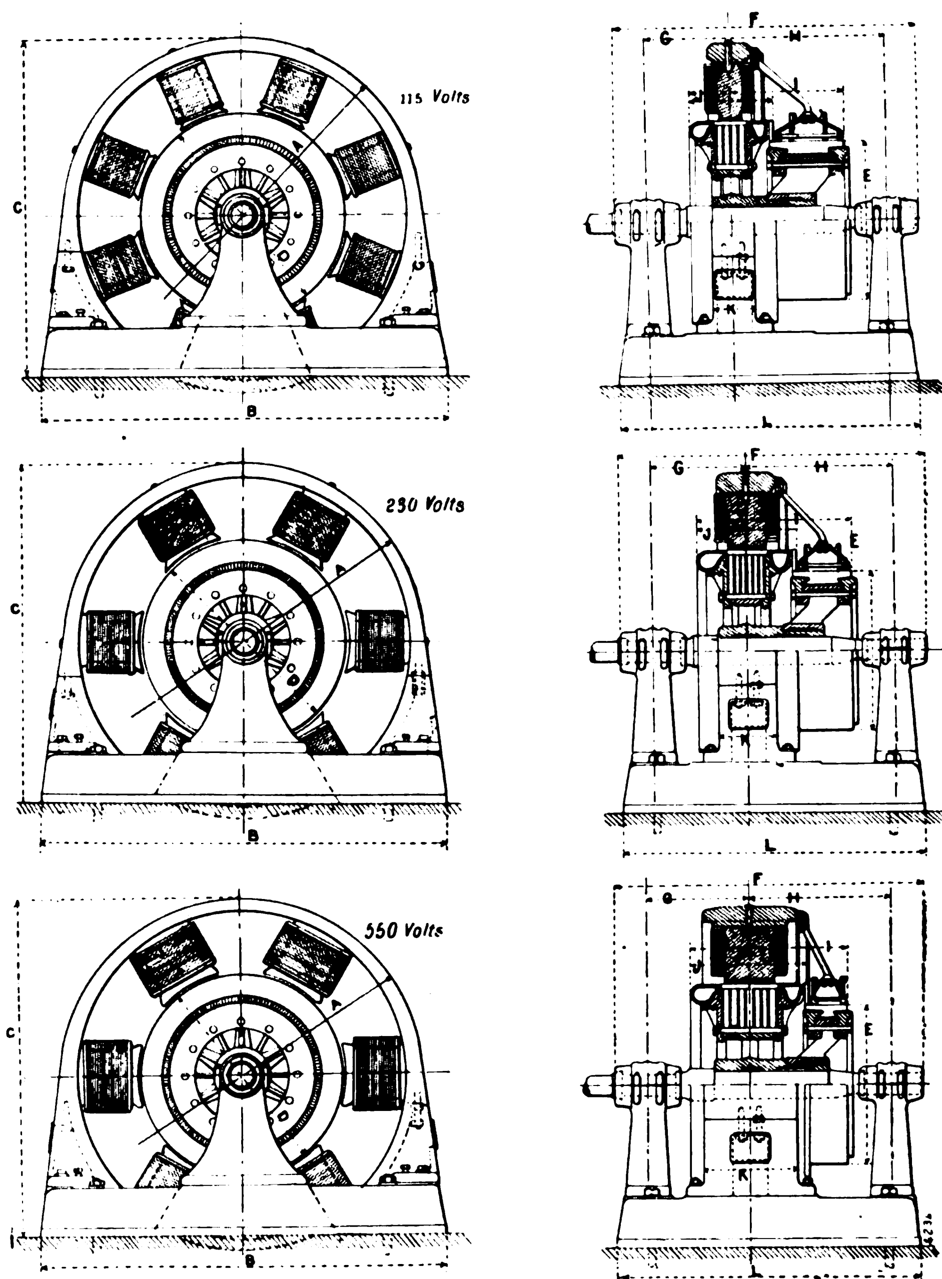


Fig. 1. — Vue de côté et coupe des 3 machines de 100 kilowatts.

collier porte-balais, elles ne nécessiteront aussi qu'un seul modèle, dont on augmentera ou diminuera la largeur suivant les cas, par l'addition de parties mobiles.

Les tableaux I à II se rapportent à une série de 4 machines, respectivement de 80, 100, 125 et 150 kilowatts, construites chacune en trois modèles, pour trois tensions différentes : 115,

230 et 550 volts; la figure 1 montre une vue de côté et une coupe des trois machines de 100 kilowatts.

Le tableau 1 indique le nombre de pôles; les tableaux 2 à 11, les dimensions principales en millimètres, et les constantes importantes des quatre machines.

TABLEAU I

NOMBRE DE PÔLES			PUISSANCE ET VITESSE	
115 V	230 V	550 V	Kilowatts	t/m
6	6	6	80	580
8	6	6	100	500
8	6	6	125	450
8	8	6	150	425

Tension de réactance par section. — On obtient des valeurs suffisamment approchées, en employant la méthode imaginée par l'auteur et M. H.-F. Parshall, il y a deux ans, et légèrement modifiée depuis.

Désignons par *longueur dans les dents* et *longueur libre* respectivement, la partie des conducteurs induits entourée de fer, et la partie libre comprenant les connexions extrêmes et les portions situées dans les canaux de ventilation ou les pièces isolantes.

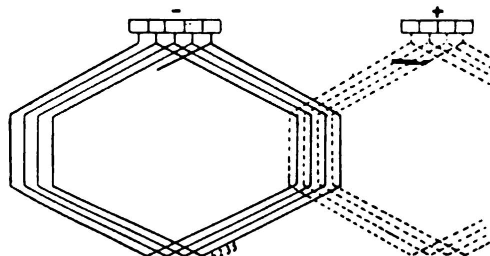


Fig. 2.

Pour calculer le flux magnétique engendré dans les bobines en court-circuit, on prend pour la longueur dans les dents 4 unités C.G.S, et pour les longueurs libres 0,8 C.G.S., par ampère-tour et par centimètre de longueur de la spire.

Comme exemple, soit (fig. 2), le cas de trois sections de chacune une spire, court-circuitées

TABLEAU II

Nombre des pôles	Puissance en kws	Tours-minute	Tension	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	80	580	115	1366	1650	1300	740	610	1325	340	660	620	330	215	1350
6	80	580	230	1366	1650	1300	740	610	1325	390	610	620	430	250	1350
6	80	580	550	1366	1650	1300	740	610	1325	420	580	620	500	400	1350
8	100	500	115	1585	1900	1500	900	710	1450	370	730	710	395	190	1470
6	100	500	230	1585	1900	1500	900	710	1450	420	680	710	470	260	1470
6	100	500	550	1585	1900	1500	900	710	1450	460	640	710	550	420	1470
8	125	450	115	1813	2210	1740	1070	790	1650	395	875	720	370	200	1660
6	125	450	230	1813	2210	1740	1070	790	1650	445	825	720	460	300	1660
6	125	450	550	1813	2210	1740	1070	790	1650	485	785	720	550	435	1660
8	150	425	115	2114	2470	2030	1200	840	1735	390	940	770	350	275	1740
8	150	425	230	2114	2470	2030	1200	840	1735	450	880	770	475	300	1740
6	150	425	550	2114	2470	2030	1200	840	1735	500	830	770	580	330	1740

Nombre des pôles	Puissance en kws	Tension	Induit, longueur entre les côtés	Nombre des canaux de ventilation	Largeur d'un canal	Longueur active de l'induit	Diamètre des noyaux polaires	Longueur radiale des noyaux polaires	Nombre des dents de l'induit
6	80	115	125	3	10	80	155	190	60
6	80	230	170	5	10	108	170	190	96
6	80	550	282	6	10	200	225	190	102
8	100	115	125	3	10	80	130	210	102
6	100	230	165	5	10	104	175	210	108
6	100	550	248	6	19	169	232	210	114
8	125	115	125	3	10	80	152	235	112
6	125	230	160	5	10	99	195	235	130
6	125	550	220	6	10	144	235	235	156
8	150	115	125	4	10	77	154	250	120
8	150	230	160	5	10	99	165	250	144
6	150	550	220	6	10	126	235	250	168

Nombre des pôles	Puissance en kws	Tension	Largeur des dents	Profondeur des dents	Nombre des lames du collecteur	Ep. des lames à la périphérie (non comp. l'isolant)	Longueur efficace du collecteur	Nombre des fils par dent	Hauteur des conducteurs induits	Largeur des conducteurs induits
6	80	115	16,2	28,0	240	7,2	290	8	11,1	2,7
6	80	230	10,4	29,5	384	4,2	190	8	12,0	1,2
6	80	550	11,5	19,0	510	3,0	120	10	6,3	1,0
8	100	115	14,5	30,0	408	4,7	315	8	12,3	2,3
6	100	230	11,8	30,0	432	4,4	230	8	12,0	1,6
6	100	550	11,4	22,5	570	3,2	160	10	8,0	1,0
8	125	115	14,0	30,0	336	6,7	350	6	11,7	3,1
6	125	230	11,0	30,0	390	5,6	250	6	11,7	2,1
6	125	550	10,6	25,0	624	3,1	170	8	8,6	1,2
8	150	115	14,0	32,5	360	6,9	400	6	12,2	3,7
8	150	230	12,0	33,0	576	3,7	275	8	12,5	1,8
6	150	550	11,4	26,0	672	3,2	170	8	9,0	1,4

sous le balai positif, et trois spires aussi sous le balai négatif :

Longueur moyenne d'une spire . . . 100 cm.
Longueur active de l'induit . . . . . 10 »
Longueur libre par spire . . . . . . 80 »
Longueur dans les dents par spire . . 20 »
Flux magnétique par ampère pour la longueur libre. . $0,8 \times 3 \times 80 = 192$
Flux magnétique par ampère pour la longueur dans les dents, $3 \times 2 \times 4 \times 20 = 480$
Flux magnétique total par ampère dans une spire court-circuitée . 672
Inductance d'une spire en Henrys. 672.10^{-8} H.

Avec une fréquence de commutation 500, et un courant de 100 ampères par ligne de balais, on a une tension de réactance par section.

$$2\pi \times 500 \times 672.10^{-8} \times 100 = 2{,}12 \text{ volts},$$

L'inductance de la partie libre du conducteur, dans les machines modernes, peut atteindre de 25 à 40 p. 100 de l'inductance totale : d'autre part, pour les dents ouvertes à bords parallèles, des machines modernes, l'inductance par centimètre, pour la partie comprise dans les dents n'est pas supérieure à 4 ou 6 fois l'inductance de la partie libre : un enroulement lisse, semblable au précédent comme dimensions, donnerait un flux magnétique

$$0{,}8 \times 80 \times 3 + 0{,}8 \times 20 \times 6 = 288,$$

soit 43 p. 100 de la valeur 672, qui correspond à l'enroulement denté, dans lequel 20 p. 100 du conducteur est entouré de fer.

Il va sans dire que les valeurs 4 et 0,8 adoptées plus haut ne sont que des approximations, et qu'il est bon de déterminer sur chaque type de machines, les valeurs plus exactes, qui dépendent de la forme des dents.

Pour terminer, l'auteur étudie la réalisation d'une bonne commutation dans les dynamos accouplées directement à des machines à vapeur à grande vitesse. D'après lui, c'est surtout une question de bonne construction mécanique.

Il importe de réaliser avant tout un collecteur tournant exactement rond, et un collier porte-balais assez solide pour qu'il n'y ait aucune vibration : lorsque ces conditions sont obtenues, il suffit de rester, pour la tension de réactance. dans les limites ordinaires.

Soit, par exemple, une grosse dynamo à 500

Tableau III

Tension	Ampères-tours induits par pôle			
	80 kw	100 kw	125 kw	150 kw
115	4 640	5 550	5 700	7 300
230	3 710	5 220	5 880	5 800
550	2 050	2 880	4 000	5 100

Tableau IV

Tension	Tension de réactance par section			
	80 kw	100 kw	125 kw	150 kw
115	1,9	2,7	2,1	2,7
230	2,0	2,5	2,5	2,8
550	1,8	2,4	2,4	2,7

Tableau V

Tension	Tension moyenne entre lames du commutateur			
	80 kw	100 kw	125 kw	150 kw
115	2,9	2,3	2,7	2,6
230	3,6	3,2	3,5	3,2
550	6,5	5,8	5,3	4,9

Tableau VI

Puissance en kw	Entrefer simple en mm	Vitesse périphérique en m/s		Force centrifuge en kg par kg	
		induit	collecteur	induit	collecteur
80	6,0	22,5	18,5	139	115
100	6,5	23,5	18,6	126	100
125	6,5	25,5	18,6	122	90
150	7,0	26,8	18,7	121	85

Tableau IX

Perte dans l'enroulement inducteur à 60° C.

Tension	80 kw	100 kw	125 kw	150 kw
115	860	1 140	1 400	1 650
230	840	1 000	1 350	1 650
550	1 030	1 240	1 450	1 640

TABLEAU VII

Perte dans l'induit en kw à 60° C.

TENSION	80 KW			100 KW			125 KW			150 KW		
	Noyau	I^2R	Total	Noyau	I^2R	Total	Noyau	I^2R	Total	Noyau	I^2R	Total
115	1,8	2,5	4,3	1,3	4,0	5,3	2,5	5,3	7,8	3,4	6,9	10,3
230	2,0	2,3	4,3	2,1	3,6	5,7	3,4	5,0	8,4	3,9	6,9	10,8
550	3,3	1,5	4,8	3,6	2,1	5,7	3,9	4,5	8,4	4,3	6,2	10.5

TABLEAU VIII

Perte dans le collecteur en kw à 60°

TENSION	80 KW			100 KW			125 KW			150 KW		
	Frottement	I^2R	Total	Frottement	I^2R	Total	Frottement	I^2R	Total	Frottement	I^2R	Total
115	1,6	1,4	3,0	2,1	1,7	3,8	2,5	2,2	4,7	2,8	2,8	5,6
230	0,8	0,7	1,5	1,0	0,9	1,9	1,2	1,1	2,3	1,4	1,3	2,7
550	0,3	0,3	0,6	0,4	0,4	0,8	0,5	0,5	1.0	0,6	0,6	1,2

TABLEAU X

Pertes totales à 60° C en kw.

TENSION	80 KW			100 KW			125 KW			150 KW		
	Const,	Var.	Total	Const.	Var.	Total	Const.	Var.	Total	Const.	Var.	Total
115	5,4	3,9	9,3	6,0	5,7	11,7	8,2	7,5	15,7	10,1	9,7	19,8
230	4,8	3,0	7,8	5,6	4,5	10,1	7,8	6,1	13,9	9,2	8,2	17,4
550	5,8	1,8	7,6	6,7	2,5	9,2	7,7	5,0	12,7	8,8	6,8	15,6

TABLEAU XI

Rendement à 60° C.

TENSION	CHARGE : 80 KW			CHARGE : 100 KW			CHARGE : 125 KW			CHARGE : 150 KW		
	1/1	3/4	1/2	1/1	3/4	1/2	1/1	3/4	1/2	1/1	3/4	1/2
115	89,5	88,7	86,3	89,5	89,0	87,1	89,0	88.0	86,0	88,5	87,7	85,6
230	91,1	90,2	87.7	90,7	90,2	88,1	90,0	89,2	87,0	89,5	89,0	87,0
550	91,3	89,8	86,5	91,5	90,2	87.2	90,8	89,8	87,5	90,5	89.7	87,6

volts, pour grande vitesse. On adoptera un grand diamètre de collecteur, un grand nombre de lames et de pôles, et cependant un nombre d'ampères-tours induits par pôle assez élevé. Il

en résultera que le flux dans le circuit magnétique sera faible, et, par suite, la machine étroite, avec d'ailleurs une tension moyenne faible entre lames du collecteur, conditions qui caractérisent une faible tension de réactance par section.

Il est à remarquer que l'originalité de la méthode consiste surtout en cette adoption simultanée d'un grand nombre de pôles et d'ampères-tours induits par pôle, la plupart des constructeurs augmentant le nombre de pôles surtout pour pouvoir diminuer le nombre d'ampères-tours par pôle. A. M.

Sur la théorie de la commutation, par **Franklin Punga**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1 035, 12 décembre 1901.

La force électromotrice nécessaire pour la commutation est donnée par la formule (1)

$$E = RJ \frac{e^{\frac{RT}{L}} + 1}{e^{\frac{RT}{L}} - 1}, \qquad (1)$$

où R désigne la résistance du circuit commuté, L sa self-induction, J le courant dans un fil, T la durée de la commutation.

Il est remarquable que, dans cette formule, la résistance R du circuit de commutation intervient très peu. En effet, si on calcule E pour l'exemple déduit par Pichelmayer de l'ouvrage *Electric Generators* [1], on trouve les valeurs correspondantes :

R = 0,005 ohm	E = 2,54 volts
0,01	2,55
0,0188	2,72
0,0283	2,97

En calculant suivant le procédé Pichelmayer, on obtient [1] :

$$E_s + E_g = 2{,}52 \text{ volts}$$

(et non 3,9 volts, par erreur), résultat concordant avec la façon de procéder de l'auteur.

Ces chiffres semblent montrer que la formule d'Arnold et autres,

$$\frac{R_1 T}{L} > 1,$$

n'a pas l'importance qu'on lui attache.

D'ailleurs, d'après Fischer Hinnen, E. T. Z. 1898, et J. Wagner E. T. Z. 1901, n° 44, bon nombre de machines fonctionnent très bien, pour lesquelles cependant on a

$$\frac{R_1 T}{L} < 1.$$

(1) Lorsque dans un circuit, parcouru par un courant J, et présentant une résistance R et une self-induction L, la force électromotrice agissante est supprimée brusquement, le courant varie suivant la loi

$$i_1 = Je^{-\frac{Rt}{L}},$$

t étant compté depuis la disparition de la force électromotrice. Voir figure 1, courbe I.

Si, au contraire, on introduit une force électromotrice E, le courant s'établit suivant la loi :

$$i_2 = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right).$$

Voir courbe II, changée de signe.

La combinaison des deux courbes donne ce qui se passe dans la commutation :

$$i = i_1 - i_2 = Je^{-\frac{Rt}{L}} - \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right).$$

Si on exprime la condition que, au bout du temps T i prend la valeur — J, on en déduit la valeur nécessaire pour E :

$$E = RJ \frac{e^{\frac{RT}{L}} + 1}{e^{\frac{RT}{L}} - 1}; \qquad (1)$$

formule déjà donnée par Reid et Fischer-Hinnen, dans laquelle on a supposé constante la résistance du circuit commuté.

Fig. 1.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, n° 2, p. 63, et l'article ci-dessus de Hobart.

La formule (1) se réduit d'ailleurs pour R = o, à

$$E = \frac{2}{T} LJ,$$

qui est l'expression donnée par Pichelmayer.

Finalement l'auteur donne le procédé suivant pour l'étude de la commutation dans une machine :

On calcule d'abord L par les procédés de Hobart en remarquant que le chiffre de 4 lignes de force par centimètre de longueur dans le fer et par ampère-tour, est déjà très élevé et tient compte de l'influence des bobines voisines, sauf dans le cas où plusieurs sections sont contenues dans la même encoche, car alors le coefficient k de Pichelmayer, devient égal à 0,9 environ.

On détermine ensuite le voltage de réactance par la formule

$$E = \frac{2}{T} LJ,$$

à laquelle on ajoute 10 p. 100 pour tenir compte *grosso modo* de la résistance ohmique, et on obtient la force électromotrice nécessaire à la commutation E_1.

Cette force électromotrice doit être plus petite que la force électromotrice E_2 induite dans une spire placée à l'entrée de la corne polaire : le rapport τ défini par

$$\tau = \frac{E_2}{E_1}$$

doit être > 1, et égal au moins à 2 ou 3, si possible.

A. Mauduit.

Construction des caractéristiques des générateurs de courants continus, alternatifs ou polyphasés, par **R. Bauch.** *Zeitschrift für Elektrotechnik und Maschinenbau*, t. IV, p. 240-245 et 286-291, juin et juillet 1901.

Jusqu'à présent, dans les projets de machine, on se contente de déterminer *a priori* la courbe du magnétisme : c'est sans doute à cette circonstance qu'il faut attribuer les différences notables que présente la caractéristique obtenue avec une forme connue d'inducteurs et de pôles quand on change la forme de l'induit.

Soit Φ le flux magnétique total, S la surface magnétique d'une section de l'induit, H le champ à travers cette surface :

$$\Phi = SH$$

et la force électromotrice e dans cette section a pour expression

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -H\frac{dS}{dt} - S\frac{dH}{dt}.$$

Si l'induit est à couronne pleine, H ne varie pas pendant la rotation et le second terme est nul : la caractéristique a la même forme que la courbe du magnétisme.

Deux causes peuvent provoquer une variation de H; une variation dans l'excitation ou dans la résistance magnétique du circuit.

Une variation de la résistance magnétique se produira forcément si l'induit est à couronne dentée : elle passera par un minimum et par un maximum suivant qu'en face de la surface polaire se trouvera une dent ou une encoche.

En toute rigueur, il résulte aussi de cette variation de la résistance une variation du flux total Φ : mais la pratique enseigne que Φ varie assez peu pour qu'on puisse le regarder comme constant, au moins dans une première approximation.

L'intensité du champ est à chaque instant,

$$\frac{\Phi}{S_t}$$

S_t étant la surface de la dent qui se trouve à l'instant considéré en face de la surface polaire. Quand l'arête de la dent pénètre dans la région d'action du pôle suivant, elle reçoit un flux magnétique dirigé en sens contraire du flux émané du pôle précédent : ce flux doit se retrancher du flux primitif et il en résulte une diminution notable et brusque du flux résultant qui traverse la section de l'induit.

Pour calculer la forme de la caractéristique, il faut connaître d'abord la courbe du magnétisme et déduire de cette courbe les valeurs de S et de S_t.

Plusieurs méthodes ont été indiquées déjà pour atteindre ce but et en utilisant partiellement ces méthodes, M. Bauch a établi un procédé empirique qui lui paraît donner des résultats présentant une concordance satisfaisante avec les résultats des mesures.

M. Bauch suppose d'abord que le flux d'induction envoyé par chaque pôle à travers l'induit est indépendant des autres pôles. Si une des parties de ce flux pénètre dans le fer d'un autre pôle, elle compte dès lors non plus dans le flux

relatif au premier, mais dans les flux égarés. Dans la zone neutre, les flux émis par les deux pôles voisins sont de sens contraire et c'est leur différence qui est utilisée. Le champ en un point quelconque est indépendant de la force électromotrice et de la résistance magnétique de tout le circuit formé par les noyaux des inducteurs, l'entrefer et le noyau de l'induit.

Cependant la répartition du champ dans la zone neutre peut dépendre de la forme des inducteurs. En effet les lignes de force émises par les faces latérales des inducteurs qui pénètrent dans la zone neutre ont parcouru dans l'air un chemin plus long que les lignes de force passant directement du pôle dans l'induit. Mais dans certaines formes de machines, la surface latérale des inducteurs peut être beaucoup plus grande que la surface polaire et les lignes de force émises par une grande surface se resserrent de plus en plus : le champ dans la zone neutre dépend alors de la forme des inducteurs.

M. Bauch laisse provisoirement de côté cette influence de la forme des inducteurs et tient compte seulement de la forme des pièces polaires et de la distance radiale de l'induit à la culasse.

Pour obtenir la courbe du magnétisme, on dessine le contour de l'induit, celui des pièces polaires, en marquant les arêtes arrondies et le diamètre intérieur de la culasse, si cette culasse a la forme d'un anneau concentrique à l'induit. Si les inducteurs sont en forme de fer à cheval, on dessine la culasse à la distance où elle se trouve de l'induit.

On marque les points situés sur le côté intérieur de la culasse à égale distance entre les deux pôles.

Par ces points, on mène les tangentes aux arêtes des surfaces polaires. S'il n'y a pas de culasse en face de l'induit, comme dans les systèmes à inducteurs en fer à cheval, on mène la tangente par le centre de l'induit (fig. 1). Ensuite on partage en 18 parties égales l'arc de l'induit compris entre les milieux des surfaces polaires. A partir de ces milieux, on porte sur le contour du pôle des longueurs égales à ces divisions et on continue sur les tangentes tracées ci-dessus, jusqu'à ce qu'il y ait sur la tangente autant de points de division que sur l'arc de l'induit compris dans la zone neutre. Puis on joint ensemble les points situés à égale distance du milieu du pôle.

Si la caractéristique de la machine est rectiligne, l'intensité du champ magnétique en chacun des points de division est inversement pro-

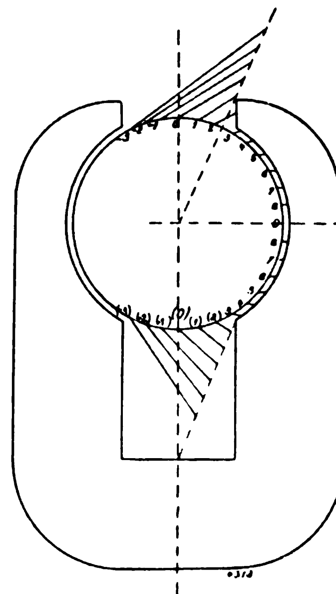


Fig. 1.

portionnelle à la longueur de ces droites. Dans la zone neutre, les deux pôles agissent simultanément : il faut prendre la différence des champs dus à chacun d'eux :

Exemple :

NUMÉRO du point.	LONGUEUR de la droite.	CHAMP	CHAMP RESTANT	
	mm			
— 3	57	3,5		
— 2	46	4,35		
— 1	35	5,7		
0	25	8	— 8 = 0	Côté ouvert.
+ 1	15	10,3	— 5,7 = 5,6	
+ 2	8	22,1	— 4,35 = 17,75	
+ 3	3,1	64,4	— 3,3 = 61,1	
+ 4	2,6	77	77	
+ 5	2,35	85	85	
+ 6	2,2	91,1	91,1	
+ 7	2,1	95,2	95,2	
+ 8	2,02	99	99	
+ 9	2	100	100	

Si la caractéristique présente une courbure accentuée, il faut tenir compte du chemin par-

NUMÉRO du point.	LONGUEUR de la droite.	CHAMP	CHAMP RESTANT
	mm		
+ 8	2,02		
+ 7	2,1		
+ 6	2,2		
+ 5	2,35		
+ 4	2,6		
+ 3	3,1	64,4	— 5 = 59,4
+ 2	5,5	36,4	— 6,3 = 30,1
+ 1	10,9	18,4	— 8,3 = 10,1
0	17,4	11,5	— 11,5 = 0
— 1	24	8,3	
— 2	31,5	6,3	
— 3	40	5	

Côté de la culasse.

couru par les lignes de force dans le fer. On pourrait calculer une caractéristique pour la même longueur de fer et pour différents entrefers : on déduirait ensuite la force électromotrice pour les différents chemins de ces caractéristiques, puisque l'excitation est la même pour tous. Mais ce procédé serait trop long et on lui substitue le suivant. On trace une caractéristique ordinaire et une droite qui représente l'excitation pour le chemin le plus court du pôle au noyau de l'induit. Ensuite on retranche de cette droite des longueurs qui sont égales à l'excitation pour l'entrefer normal, multiplié par le rapport qui existe entre l'entrefer au point considéré et l'entrefer minimum, au milieu de la surface polaire (fig. 2). Puis on prend sur le compas une longueur égale à l'excitation avec laquelle la machine doit travailler à vide : on cherche les points de la caractéristique tels que leur distance comptée horizontalement aux rayons vecteurs menés par les points de division de l'induit soit égale à cette ouverture de compas.

Les ordonnées de ces points sont proportionnelles à l'intensité du champ produit par un pôle au point correspondant : si deux pôles agissent simultanément, le champ est égal à la différence des champs produits par chacun d'eux [1].

[1] Ce procédé ne met pas en évidence la diminution du champ vers les cornes polaires opposées à la culasse dans les inducteurs en fer à cheval : il faudrait tenir compte des longueurs différentes des chemins parcourus par les lignes de force dans le fer des noyaux inducteurs ; mais comme la plupart des machines actuelles ont des inducteurs symétriques, il est inutile d'introduire cette complication.

Pour calculer la force électromotrice au moyen de la courbe du magnétisme ainsi obtenue on reportera sur une bande de papier plane la division tracée sur le contour de l'induit, réduite à une échelle convenable. On placera cette bande sous la courbe du magnétisme de manière que la section de l'induit étudié se trouve toujours sur un point de division : on évaluera l'aire de

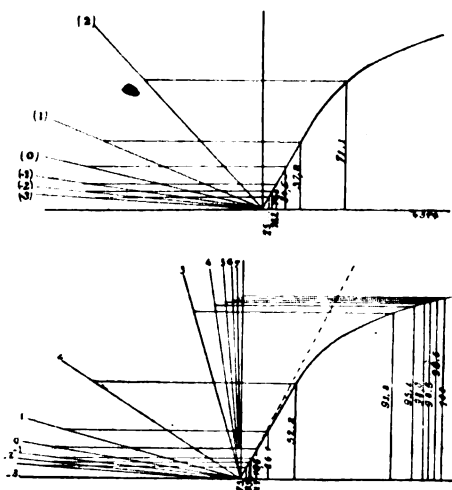


Fig. 2.

la courbe du magnétisme à droite et à gauche de la section jusqu'à la zone neutre. Il faut tenir compte des aires qui correspondent aux encoches et les retrancher de l'aire totale :

Soient S_1 et S_2 les deux aires obtenues : la surface que présente l'induit au pôle est $S_1 + S_2$. Si S est la valeur de l'aire qu'on obtient quand la section considérée est au milieu de la zone neutre, l'intensité du champ sur la couronne de la dent sera à chaque instant :

$$H' = H \frac{S}{S_1 + S_2}$$

et le flux magnétique à travers la section :

$$\Phi = H'(S_1 - S_2) = H \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2}.$$

Si on forme cette expression pour deux positions de la section, la différence représente la force électromotrice moyenne dans la section entre ces deux positions : on laisse de côté le facteur S, qui est constant : la forme de la courbe n'est pas changée.

Ce procédé permet seulement de trouver la

forme approximative de la caractéristique, car chacune des valeurs trouvées est seulement la moyenne de la force électromotrice dans la spire pendant que celle-ci décrit un arc de 10°.

On peut obtenir des résultats plus exacts par un procédé plus précis, basé sur une manière de calcul différentiel. Soit s la variation de la surface opposée par l'induit au pôle, pendant le temps t : S' la surface totale à l'époque $1 - t$ et S'' cette surface à l'époque 1.

on aura

$$tE = S'(H' - H'') + H''s,$$

en supposant

$$\frac{H'}{H} = \frac{S}{S'} \quad \text{et} \quad \frac{H''}{H} = \frac{S}{S''}$$

si S est la section maxima du flux magnétique. Par suite, on aura, à très peu près :

$$Et = S\left(1 - \frac{S' - s}{S''}\right).$$

Pour déterminer les diverses sections S, S', S'', on opèrera de la manière suivante :

On placera la bande de papier qui porte la division en dents sur la courbe du magnétisme, de manière qu'une encoche se trouve dans la position qu'elle occupe un temps $\frac{t}{2}$ avant l'instant pour lequel on veut calculer la force électromotrice : puis on détermine l'intensité du champ qui existe aux points où se trouvent les encoches. On obtiendra S' en retranchant de S le produit de la somme de ces intensités par la largeur de l'encoche. On fera la même opération en plaçant l'encoche dans la position qu'elle prend un temps $\frac{t}{2}$ après l'instant considéré : ce qui donnera S''. Pour calculer s on détermine les intensités du champ qui correspondent aux encoches situées d'un des côtés de la section, dans les deux positions de cette section signalées : puis celles qui correspondent aux encoches situées de l'autre côté. Soient S'_1 et S''_1 les valeurs obtenues à droite de la section, S'_2 et S''_2 les valeurs obtenues à gauche :

$$s = (S'_1 - S'_2) - (S''_1 - S''_2) + 2h$$

h étant l'intensité du champ au point considéré. Il est indispensable de choisir t assez petit et d'effectuer les calculs à l'aide des logarithmes.

Dans les alternateurs on trouve deux types d'inducteurs : les inducteurs à champs alternés, portant chacun un enroulement particulier et les inducteurs à champ de même sens, portant une seule bobine disposée entre un grand nombre de couples de cornes polaires.

Il est aisé de voir comment le procédé de calcul indiqué ci-dessus s'appliquerait à chacun de ces types.

La denture d'un induit peut être considérée comme un système de cornes polaires : en effet les lignes de force qui pénètrent de l'induit dans la surface polaire sortent de l'induit non seulement par la couronne des dents, mais aussi par leurs faces latérales.

Inversement les lignes de force émises par les inducteurs pénètrent dans les dents par la couronne et par les faces latérales. Par suite, ce n'est pas la largeur complète des encoches qui entre en jeu : c'est une largeur *réduite*. Pour obtenir cette largeur réduite, on détermine l'aire de la courbe du magnétisme telle que le calcul indiqué ci-dessus la donne; on multiplie d'autre part l'intensité du champ au voisinage des arêtes par la largeur de l'encoche et on prend le rapport des deux nombres ainsi obtenus. On multiplie ensuite par ce rapport la largeur géométrique des encoches et c'est ce produit qui représente la largeur réduite.

L'auteur estime ce procédé plus rapide et plus exact que celui qui consiste à développer l'expression de la force électromotrice en série de Fourier.

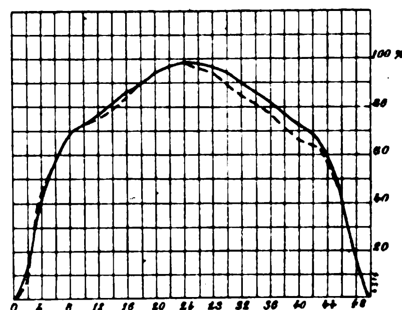


Fig. 3.

La figure 3 représente la caractéristique calculée et la caractéristique observée pour une machine de Wood ancienne, destinée à alimenter des lampes à arc : la figure 4 ces deux courbes

pour un moteur synchrone de Ganz, dans lequel à chaque pôle correspond une encoche dont la largeur est égale ou un peu supérieure à celle

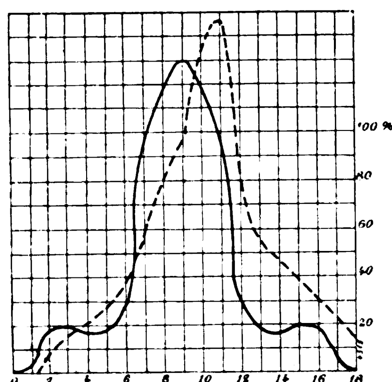


Fig. 4.

du pôle. La courbe observée se rapporte à la marche sous charge, la courbe calculée à la marche à vide.

Les figures 5-19 montrent l'influence du rapport entre la largeur des surfaces polaires et la largeur des encoches; la courbe du magnétisme est la même dans ces différents cas.

Les courbes disposées sur une même ligne horizontale se rapportent à une même largeur de pôle, 50, 60, 70 p. 100 respectivement : disposées sur une même colonne verticale, elles se rapportent à une même largeur (réduite) des encoches : 50, 40, 30, 20 et 10 p. 100. On voit que plus est grande la largeur des encoches et plus est petite celle des pôles, plus la pointe de la caractéristique est aiguë; le champ maximum restant le même [1].

Les courbes de la figure 20 mettent en évidence l'influence du deuxième terme de la force électromotrice $- H \frac{dS}{dt}$. Les trois maxima que présente la courbe obtenue en négligeant ce terme n'ont jamais été observés sur une machine de ce genre.

Plus les dents sont nombreuses et plus les encoches sont étroites, plus la forme de la caractéristique se rapproche de celle de la courbe du magnétisme. Cependant, tandis que le calcul et l'observation s'accordent dans le cas des induits à couronne pleine, on constate un écart sensible quand il s'agit d'induits dentés, surtout dans le voisinage des arêtes des pôles (fig. 21 : machine à courants continus, ayant 28 dents par pôle). On trouve toujours que dans cette région la

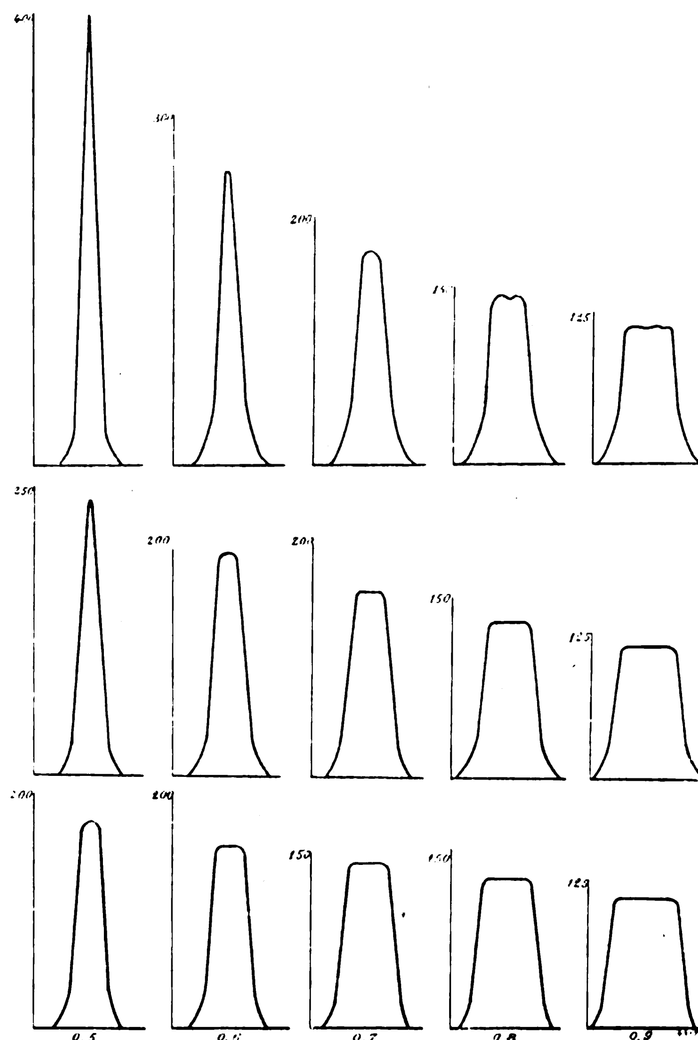


Fig. 5 à 19.

caractéristique est au-dessus de la courbe du magnétisme. Il peut même arriver que la caractéristique présente des maxima très nets dans ces régions. Suivant M. Bauch, ces maxima ne sont pas dus à la saturation magnétique plus élevée du fer au voisinage des arêtes : les lignes de force émises par les arêtes, en admettant qu'elles soient plus nombreuses qu'au centre du pôle, se répartissent sur une surface plus grande et ne

(1) Une largeur réduite des encoches égale à 50 p. 100 n'est pas réalisable dans la pratique; mais on peut obtenir celles de 30 p. 100 et au-dessous.

peuvent produire de force électromotrice plus grande. Les maxima sont dus seulement à l'influence du terme $- H \frac{dS}{dt}$.

Ces maxima de la force électromotrice au voisinage des arêtes sont d'autant plus marqués que le nombre et la largeur des dents sont plus petits (fig. 22-37).

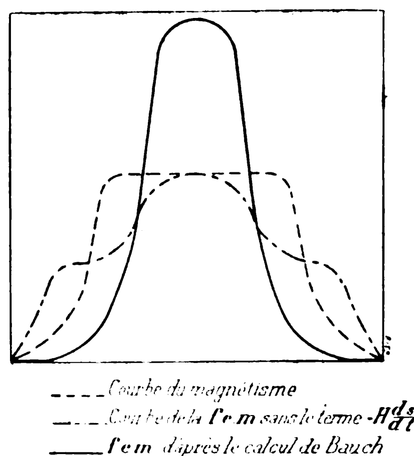


Fig. 20 et 21.

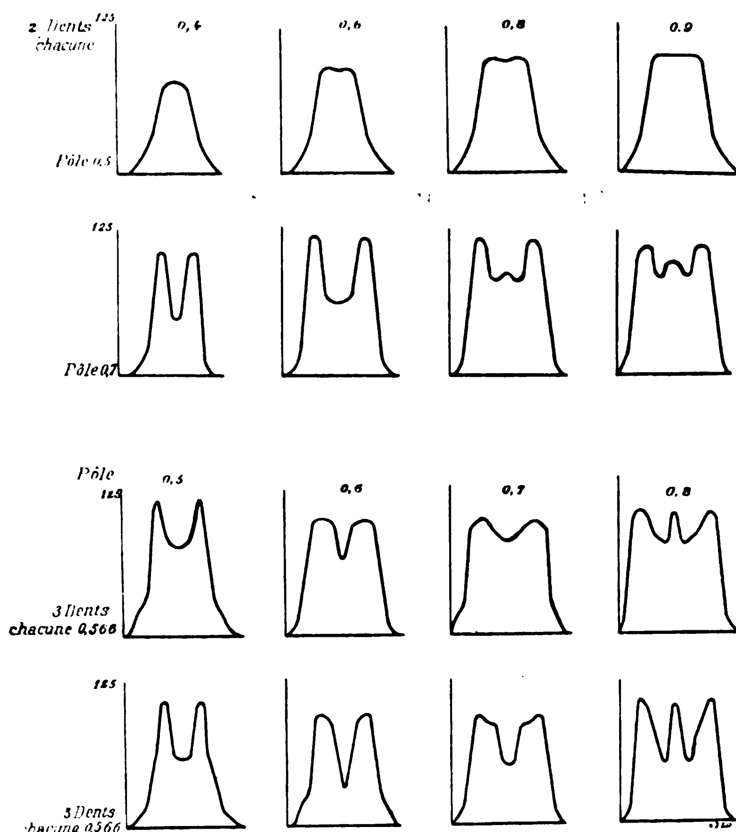


Fig. 22 à 37.

Quand la largeur des dents devient grande, il se produit un troisième maximum correspondant au milieu du pôle : mais il atteint rarement la hauteur des deux autres ([1]).

D'une manière générale, les courbes calculées reproduisent les sinuosités des courbes observées avec exagération : elles en sont pour ainsi dire la « caricature ».

Ces sinuosités, provoquées par la denture de l'induit, correspondent aux régions de résistance magnétique minima. En d'autres termes, si on place l'induit de manière que la somme $S'_1 + S'_2$ soit maxima, la courbe des forces électromotrices se relève au-dessus de la courbe du magnétisme sur le milieu des dents et s'abaisse au-dessous sur le milieu des encoches. C'est le résultat qu'on obtient aussi quand on se sert de la théorie de Fourier. M. LAMOTTE.

([1]) Ce maximum est dû à ce que pendant le mouvement de l'induit à partir du point pour lequel la force électromotrice est nulle il ne se trouve d'abord qu'une encoche en face du pôle; après 1/4 de période il s'en trouve deux, dont l'une s'éloigne de la surface polaire pendant le 1/4 de période suivant. A ce moment la densité des lignes de force subit une diminution notable : la surface S_1 qui diminue est plus grande que la surface S_2 qui augmente; en même temps l'encoche qui dépasse l'arête de la surface polaire se trouve encore dans le champ assez intense de la région neutre tandis qu'en face de l'autre arête se trouve la couronne d'une dent; quand l'encoche dépasse la surface polaire, il doit donc en résulter une augmentation de la force électromotrice.

Transformateur à haute fréquence de l'Elektrizitæts-Aktiengesellschaft anciennement Schuckert et Cie. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVIII, p. 263, 15 septembre 1901.

Dans les transformateurs à haute fréquence de

Tesla et de Thomson, on utilise la décharge oscillatoire d'un condensateur pour créer dans un conducteur des courants alternatifs à courte période qui sont transformés au moyen d'un conducteur secondaire. Les dispositifs actuels présentent de nombreux défauts : les conducteurs qui relient les bouteilles de Leyde au primaire sont une source importante de perte, par suite de la grande partie de l'énergie des oscillations électriques qui rayonnent dans l'espace environnant; ces conducteurs sont le siège d'une self-induction non négligeable qui accroît la période.

Dans certains cas, et en particulier dans la télégraphie hertzienne, il faut maintenir une longueur d'onde déterminée et l'on doit choisir avec les grandes self-inductions une capacité des condensateurs relativement petite. Au contraire si l'on parvient à diminuer la self-induction, on peut évidemment augmenter la capacité et par suite la puissance du transformateur. Enfin avec les dispositions usuelles il est difficile de maintenir longtemps un bon isolement; il s'en suit encore une perte sensible d'énergie.

Ces défauts sont considérablement atténués avec la disposition de Schuckert représentée par

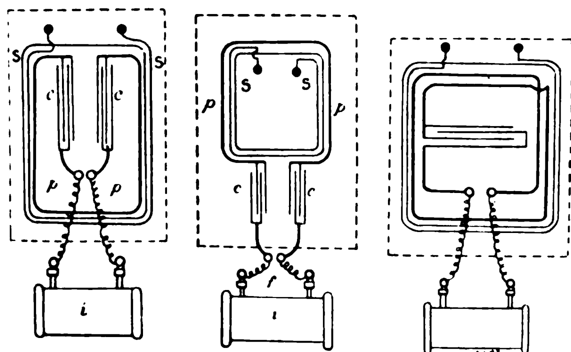


Fig. 1.

les figures 1, 2 et 3. Les pôles d'un transformateur à haute tension *i* (alternateur ou appareil d'induction) sont reliés à un trajet d'étincelles et aux armatures de deux condensateurs *c* dont les autres armatures communiquent entre elles par un fort fil de cuivre qui forme le primaire *p*. Celui-ci est entouré par le secondaire S qui suit en plusieurs enroulements le fil primaire. Les lignes de forces émanées du primaire sont ainsi coupées par le secondaire et il n'y a pas de perte par rayonnement. En outre la self-induction est réduite au minimum, ce qui constitue un avantage essentiel au point de vue de la grandeur du condensateur quand il s'agit d'obtenir une longueur d'onde déterminée : la diminution de quelques centimètres dans la longueur du conducteur de liaison entre le primaire et le condensateur permet de diminuer la capacité de ce dernier de 20 à 30 p. 100. L'isolement est facile à réaliser.

L'ensemble est renfermé dans une boîte représentée en pointillé sur la figure et qui est remplie d'huile, de paraffine, etc. G. G.

DIVERS

Photographies cinématographiques de l'arc voltaïque et le photographophone, ou phonographe photographique, par **E. Ruhmer**, *Dr. Ann.* t. V, p. 803-811, août 1901.

Dans le circuit d'une lampe à arc se trouve une bobine et en dérivation sur cette bobine un rhéostat et un microphone. L'arc est photographié sur une plaque photographique tombant sous l'action de la pesanteur : la vitesse moyenne est de 3 m. par seconde.

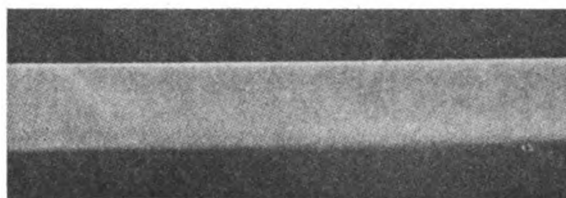


Fig. 1. — Arc continu, maintenu aussi long que possible.

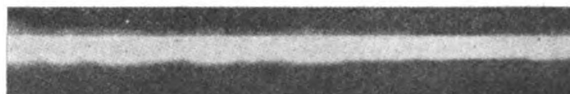


Fig. 2. — Arc plus court, sifflant.

Quelques-unes des photographies obtenues sont reproduites dans les figures 1 à 8.



Fig. 3. — Arc intermittent, alimenté par l'intermédiaire d'un interrupteur à liquide.

La dernière est obtenue par un dispositif analogue à celui du cinématographe.

Pour reproduire la parole à l'aide de cette pellicule, on l'enroule sur le cylindre dont elle

a été déroulée, avec la même vitesse. On reçoit la lumière de la lampe à arc sur la pellicule, puis sur une lentille cylindrique qui la concentre



Fig. 4. — Arc s'éteignant lorsqu'on écarte les charbons.



Fig. 5. — Arc produit par un courant continu et le courant d'un interrupteur superposés.



Fig. 6. — Arc obtenu quand on siffle devant le microphone.

sur un récepteur à sélénium très sensible. Les variations d'éclairement du sélénium provoquent dans son circuit des variations d'intensité, et deux téléphones insérés à la suite l'un de l'autre dans ce circuit reproduisent la parole avec une



Fig. 7. — Arc obtenu quand on prononce la voyelle O devant le microphone.

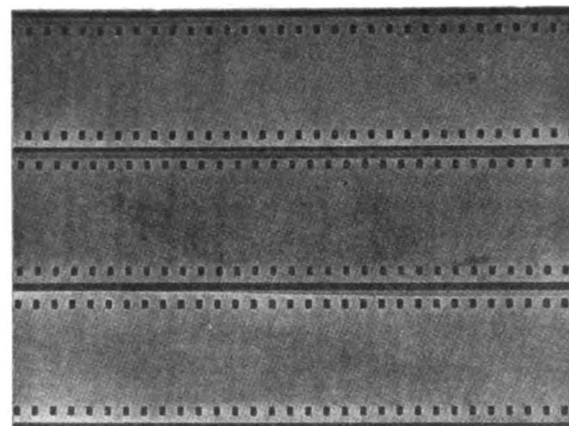


Fig. 8. — Photographie enregistrant des paroles prononcées devant le microphone.

netteté et une fidélité de timbre surprenantes.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 27 janvier 1902.

Sur les caractères du rayonnement de l'uranium, par **H. Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 208-209.

L'auteur fait connaître les résultats qu'il a obtenus dans des expériences faites sur l'uranium avec un dispositif dont il s'était déjà servi pour le radium [1].

Avec ce dernier corps, les rayons non déviables et les rayons déviables par le champ magnétique donnent une impression photographique très nette. Avec l'uranium, on constate celle des rayons déviables, mais l'impression des rayons non déviables n'est pas sensible, même après quarante-deux jours de pose. M. Becquerel en conclut que l'uranium n'émet pas de rayons non déviables ou tout au moins qu'il n'en émet que dans une proportion insignifiante, par rapport

[1] Voir *Écl. l'Élect.*, t. XXIII, p. 470, 23 juin 1900. Voici d'ailleurs la description sommaire du dispositif :

Dans le champ uniforme d'un aimant permanent, on place un petit bloc de plomb contenant la matière active tassée dans une fente rectiligne de 1 mm de large environ, et orientée parallèlement au champ. Au-dessus de cette source, une fente très fine pratiquée dans du verre ou dans du plomb diaphragme le faisceau émis dans un plan parallèle au champ. Au-dessus de ce système on dispose une plaque photographique non enveloppée, coupant normalement le plan du faisceau avant sa déviation, et plus ou moins inclinée sur le champ. Si la matière radio-active est spontanément lumineuse, on élimine la lumière en couvrant la source avec une feuille mince d'aluminium de $0^{mm},01$ d'épaisseur, qui laisse passer la presque totalité du rayonnement.

au rayonnement total. La comparaison des clichés photographiques obtenus avec l'uranium et de ceux obtenus avec le radium, semble indiquer que le rayonnement de l'uranium est formé de rayons semblables aux rayons les moins déviables de la partie déviable du rayonnement du radium.

Action du rayonnement du radium sur le phosphore, par **H. Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 210-211.

Après avoir montré [1] que le rayonnement obscur du radium transforme le phosphore blanc en phosphore rouge, l'auteur a cherché à analyser ce phénomène et à reconnaître, au moins en partie, la nature des rayons actifs [2].

Dans ses expériences, M. Becquerel conclut :

« Il est donc démontré par cette expérience que la partie déviable du rayonnement du radium, identique aux rayons cathodiques, transforme le phosphore blanc en phosphore rouge. Il est très probable que la partie non déviable très absorbable serait également très active pour effectuer cette transformation, mais on a vu que la nécessité de préserver le radium contre un accident d'expérience avait conduit à employer un tube de verre qui arrêtait ce dernier rayonnement. »

Sur la préparation du tantale au four électrique et sur ses propriétés, par **Henri Moissan**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 211-215.

On prend un mélange d'acide tantalique et de charbon ; on comprime et on chauffe au four Perrot ; ensuite on chauffe au four électrique pendant dix minutes avec 800 ampères. On obtient une masse métallique à cassure brillante et cristalline, ne renfermant dans certains cas que 0,5 p. 100 de carbone.

L'étude des réactions de ce corps montre que le tantale possède des propriétés réductrices très particulières qui le rapprochent plutôt des métalloïdes que des métaux ; les réactions sont semblables à celles du niobium.

Définition expérimentale des diverses sortes de rayons X par le radiochromomètre, par **L. Benoist**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 225-227.

Le radiochromomètre est formé d'un disque d'aluminium divisé en douze secteurs dont les épaisseurs vont en croissant de 1 mm à 12 mm. Le centre de ce disque évidé est occupé par un disque d'argent de 0,11 mm. d'épaisseur. Les secteurs d'aluminium sont distribués comme les heures d'une montre, ce qui dispense de les numéroter, car on reconnaît immédiatement leur rang par leur place même, l'épaisseur 1 correspondant à 1 h, etc., jusqu'à l'épaisseur 12, qui correspond à 12 h.

L'appareil se place soit au-dessus de la plaque radiographique, soit contre l'écran fluorescent utilisé en radioscopie. Sur l'image obtenue dans l'un ou l'autre cas, il y a égalité d'ombre entre le disque central d'argent et l'un des secteurs d'aluminium. Le numéro d'épaisseur ou rang de ce secteur constitue le *degré radiochromométrique* des rayons X employés et les définit complètement.

Ainsi se trouve constituée une échelle de *douze* degrés (on peut évaluer le demi-degré et même le quart de degré) qui comprend toutes les qualités de rayons X obtenues et utilisées jusqu'ici. Par exemple, les rayons de dureté moyenne marquent 5° ou 6°, les rayons très durs 9° ou 10°, les rayons très mous 2° ou 3°.

Pour l'observation directe des ampoules radiogènes, et leur réglage et leur emploi méthodique, le radiochromomètre se place contre un écran fluorescent de mêmes dimensions, fixé à l'une des extrémités d'un corps de lunette dont l'extrémité opposée est munie d'une bonnette s'appliquant exactement contre l'œil.

---

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 302, 23 novembre 1901.

(2) Dans une cuve plate en verre de 1 mm d'épaisseur, dont une face était formée par une lame de mica très mince on a coulé du phosphore blanc, que l'on a recouvert d'une couche de glycérine. La cuve a été disposée verticalement contre l'une des armatures d'un aimant donnant un champ d'environ 400 unités C.G.S., puis à la partie supérieure on a placé une source linéaire horizontale normale à la cuve et parallèle au champ. La matière active était du chlorure de radium enfermé dans un petit tube de verre de 1 mm de diamètre, et entouré d'une feuille d'aluminium battu enroulée plusieurs fois autour du tube pour arrêter la lumière émise ; deux fentes successives distantes de 15 mm, pratiquées dans des lames de plomb et parallèles au tube, limitaient l'émission dans un plan parallèle au champ. Le radium avait été enfermé dans un tube scellé, et placé au-dessus du phosphore, de façon à être protégé contre une inflammation accidentelle du phosphore pendant la longue durée de l'expérience. La présence du tube de verre arrêtait la partie non déviable et très absorbante du rayonnement, ainsi qu'on a pu s'en convaincre en substituant ultérieurement à la cuve une plaque photographique.

Sur un appareil pour l'enregistrement automatique des décharges de l'atmosphère, par **J. Fenyi**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 227-228.

Cet appareil [1], projeté par l'auteur en mars 1900 et construit par M. Schreiber, assistant à l'observatoire de Kalocsa, a été installé en 1901 et a donné d'excellents résultats. Tous les orages qui se produisaient autour de Kalocsa, sur un cercle d'environ 100 km de rayon, ont été très nettement enregistrés.

[1] « Le cohéreur et une bobine de fil de 0,2 mm de diamètre, dont la résistance est à peu près 100 ohms, sont insérés dans le circuit d'un élément de Meidinger. Au centre de la bobine se trouve une aiguille aimantée qui, posée sur un pivot vertical d'acier, est déviée si le cohéreur est devenu conducteur par un éclair lointain, et ferme un assez fort courant dans le circuit d'enregistrement. Dans le même circuit d'enregistrement est insérée une sonnerie dont le couvercle porte le cohéreur. L'ébranlement que la sonnerie produit est suffisant pour ébranler le cohéreur et pour interrompre ainsi le courant dans la bobine ; l'aiguille aimantée revient dans sa position d'équilibre et le cohéreur est disposé à recevoir une nouvelle impulsion.

» Le cohéreur même, par sa simplicité, est d'un intérêt spécial. Il n'est pas constitué par de la limaille de nickel, mais seulement par deux aiguilles à coudre posées en croix l'une sur l'autre. Cette forme de cohéreur se recommande par plusieurs conditions : d'abord chacun peut le construire sans dépenses et sans peine ; malgré cela, le cohéreur fonctionne avec une grande sûreté, enfin il permet de constater par observation et mesure les conditions d'un bon et sûr fonctionnement. Ces recherches ont démontré qu'il faut et suffit que le potentiel du courant dans la bobine ne dépasse pas un quart de volt.

» Il faut donc, si l'on emploie un élément de Meidinger, shunter cet élément de manière à réduire la force électromotrice à ce degré. Ce n'est pas l'intensité du courant qui importe : il ne suffit pas de l'affaiblir par une résistance insérée au circuit. Si la tension électrique n'est pas réduite, nul ébranlement n'est suffisant pour priver le cohéreur de sa conductibilité. On constate aussi que la pression des deux aiguilles exercée l'une sur l'autre peut varier depuis le moindre contact jusqu'à la pression de 6 kg, sans qu'on observe des variations appréciables dans le fonctionnement du cohéreur. Une circonstance singulièrement remarquable dans le fonctionnement de ce cohéreur est que les deux aiguilles polies et en contact se comportent comme un isolateur, quand même elles exercent une pression mutuelle de 6 kg ; mais la moindre étincelle d'un électrophore lui donne la conductibilité, et le moindre ébranlement l'interrompt complètement. D'après diverses expériences de cette sorte, j'ai constaté que le cohéreur acquiert la conductibilité par l'étincelle électrique, même dans le cas où l'élément n'est pas inséré au moment où l'étincelle est tirée de l'électrophore ; car, si l'on insère l'élément de nouveau, l'aiguille aimantée est aussitôt déviée.

» M. l'assistant a aussi observé que le cohéreur peut devenir conducteur par un son très aigu, par exemple par le son d'une petite trompette, que l'élément soit ou non inséré dans le circuit : il a trouvé que le cohéreur fonctionne avec la plus grande sûreté, si l'on met une goutte d'eau au point de contact des deux aiguilles, ou si on les plonge toutes les deux dans de l'huile de pétrole. »

Contribution à l'étude des alliages aluminium-fer et aluminium-manganèse, par **Léon Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 236-237.

En opérant par la méthode Goldschmidt, c'est-à-dire en enflammant des mélanges d'aluminium en poudre (dit aluminium de thermite) et d'oxyde de fer (Fe^2O^3), ou d'oxyde de manganèse $(Mn^2O)^3$, M. Guillet a pu isoler les combinaisons suivantes :



Fe^2Al^3, $FeAl^3$, Mn^2Al^3, $MnAl^3$, $MnAl^4$.

ERRATA

Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz, par **A. Witz**. Quelques erreurs sont restées dans les chiffres des tableaux.

Essais Schmidt sur une chaudière, p. 9.

Eau vaporisée par m^2 de plan d'eau-heure, au lieu de 286 kg, lire 276 kg.

Essais Kennedy sur une chaudière, p. 10.

Analyse de la fumée : O, au lieu de 19,43, lire 10,43.

Essais Vincotte sur une machine, p. 13.

Pression moyenne indiquée GC, au lieu de 0,735 kg : cm^2, lire 0,745 kg : cm^2.

Calories au kilogramme de vapeur saturée, au lieu de 659,59, lire 659,69.

Essais Walther Meunier sur une machine, p. 15.

Puissance nominale, au lieu de 100 chevaux, lire 1 000 chevaux.

Travail indiqué, PC, au lieu de 420,64 chevaux, lire 428,64 chevaux.

Moteur Niel, nouveau modèle, p. 48.

Consommation de gaz par cheval-heure indiqué, au lieu de 364, lire 376.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 15 Février 1902. 9e Année. — N° 7.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOTES SUR LES ESSAIS D'ISOLEMENT

La méthode de mesure des résistances d'isolement employée d'une façon à peu près universelle dans l'industrie, est la méthode dite de déviation. Nous nous proposons d'en faire ressortir les avantages, et d'en indiquer quelques applications intéressantes.

Le principal reproche que l'on peut faire aux autres méthodes est d'être d'un emploi assez long et délicat; nous pensons, en outre, qu'il est très difficile d'établir une comparaison instructive entre les résultats que donnent ces méthodes.

Dans la méthode de la perte de charge, par exemple, un condensateur préalablement chargé, se décharge à travers l'isolant dont on veut mesurer la résistance d'isolement (fig. 1).

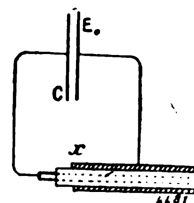


Fig. 1.

Soient E_0 la différence de potentiel entre les armatures du condensateur, au début de la décharge, C la capacité, supposée connue, du condensateur, x la résistance à mesurer. Soit E la différence de potentiel au temps t, *si x est la valeur de la résistance à cet instant*, le courant de décharge est $i = \frac{E}{x}$, et la décharge, pendant l'instant dt suivant est,

$$-dQ = -CdE = \frac{E}{x}\,dt,$$

d'où

$$dt = -Cx\,\frac{dE}{E}.$$

En intégrant, entre des temps o et t_1, il vient

$$\int_0^{t_1} dt = t_1 = -\int_{E_0}^{E_1} Cx \frac{dE}{E}.$$

On suppose habituellement x constant, et on obtient

$$t_1 = -Cx \log_e \frac{E_1}{E_0};$$

d'où

$$x = \frac{t_1}{C \log_e \frac{E_0}{E_1}}. \qquad (1)$$

Mais la valeur ainsi obtenue n'a qu'un rapport très lointain avec ce que l'on définit comme résistance d'isolement d'une substance. Cette résistance est, en effet, définie comme le quotient de la différence de potentiel appliquée par le courant de circulation. Or si l'on prenait dans la précédente mesure, une série de valeurs différentes pour t_1, on trouverait des valeurs de x qui peuvent présenter des différences très notables.

Il en résulte d'abord que, dans des mesures courantes de fabrication de câbles, il faut s'astreindre à prendre toujours le même temps t_1; si l'on veut avoir des résultats comparables entre eux. Cette nécessité n'est pas sans quelque inconvénient, car la sensibilité dépendant de la grandeur de la perte de charge, dépend aussi, par conséquent, de la durée. Autrement dit, la méthode trop sensible avec certains isolements peut l'être trop peu avec d'autres, à durée égale de décharge.

Si l'on veut maintenir une durée de décharge constante pour toutes les mesures, on sera amené à prendre des valeurs initiales de la différence de potentiel différentes, ou à faire varier la capacité du condensateur.

Dans le premier cas, les résultats ne seront plus comparables, car on sait que la valeur de l'isolement dépend plus ou moins de la tension employée pour la mesure : aussi recommande-t-on souvent d'effectuer ces mesures avec la tension à laquelle les câbles seront soumis dans l'exploitation. Les condensateurs de laboratoire ne peuvent, sans risque d'être détériorés, être soumis à des tensions de 100 à 200 volts; mais il est facile de construire des condensateurs supportant ces tensions. On serait certain, dans ce cas, d'avoir toujours des sensibilités suffisantes et l'on pourrait s'astreindre à conserver la même tension pour une série de mesures dont les résultats doivent être comparables.

On conçoit néanmoins que la sensibilité d'une installation d'essai, destinée à la mesure de quantités dont l'ordre de grandeur relatif varie souvent de 1 à 100, doive présenter une élasticité, que l'on ne peut obtenir, en conservant des durées de décharge et des tensions uniformes, qu'en modifiant la capacité du condensateur ou la sensibilité du galvanomètre balistique destiné à la mesure du rapport des tensions initiale et finale de la décharge.

Pour ce qui est de la sensibilité du balistique, il est assez délicat de la faire varier; les shunts que l'on emploie à cet usage doivent être étudiés spécialement de façon à ne pas modifier la période d'oscillation.

Quant à la variation de la capacité du condensateur, outre que tous les laboratoires industriels ne possèdent pas d'étalon à capacités variables, leur usage donnerait lieu à des corrections fastidieuses. Nous avons, en effet, supposé, en rappelant le principe de la méthode de perte de charge, que la décharge résultait uniquement de l'imperfection de l'isolement à mesurer. Or, en pratique, il est très commun de rencontrer des câbles dont l'isolant présente une résistance supérieure à celle du diélectrique des condensateurs de

mesure. Ceci confirme notre opinion qu'il y aurait lieu de construire des condensateurs qui puissent supporter des tensions de 100 à 200 volts; on serait ainsi amené à augmenter de façon notable la résistance d'isolement de leur diélectrique, et on éviterait la nécessité de tenir compte de la perte de charge à laquelle il donne lieu.

La correction qui en résulte s'obtient aisément; le condensateur se décharge en effet sur les résistances ρ et x placées en quantité sur les armatures, ρ étant la résistance d'isolement du condensateur, comme le montre la figure 2. Il faudra donc remplacer, dans la formule (1) x par $\frac{\rho x}{\rho + x}$.

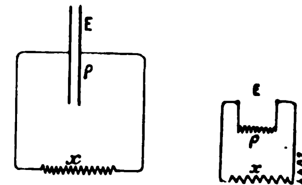


Fig. 2.

Quant à ρ, on le déterminera par une mesure préalable, où l'on supprimera x et on laissera simplement la perte de charge s'effectuer sur le diélectrique du condensateur.

Mais ces corrections seraient à effectuer chaque fois que l'on change la capacité du condensateur, puisque le diélectrique change ainsi que sa résistance d'isolement, et, en outre, après chaque mesure, car, comme nous le verrons plus loin, la résistance d'isolement d'une substance dépend essentiellement de son « électrification » antérieure, du moins dans certaines limites de temps.

Si l'on voulait malgré tout s'astreindre à la sujétion inadmissible en pratique de toutes ces corrections, il resterait une objection très grave à la valeur des résultats obtenus avec la méthode de la perte de charge appliquée à des câbles électriques.

Nous avons dit, en effet, que la résistance d'isolement obtenue par cette méthode dépend de la durée de la décharge. Nous en donnerons des exemples plus loin. Il en résulte que cette résistance est une certaine fonction $x = f(t)$ du temps; par conséquent l'équation différentielle

$$dt = -\mathrm{C}x \frac{d\mathrm{E}}{\mathrm{E}}$$

deviendra

$$\frac{dt}{f(t)} = -\mathrm{C}\frac{d\mathrm{E}}{\mathrm{E}},$$

et en intégrant,

$$\int_0^1 \frac{dt}{f(t)} = -\mathrm{C}\log_e \frac{\mathrm{E}_1}{\mathrm{E}_0}. \tag{2}$$

Si la fonction $f(t)$ est connue, et que la fonction primitive de $\frac{1}{f(t)}$ soit $\mathrm{F}(t)$, l'équation

$$\mathrm{F}(t_1) - \mathrm{F}(0) = -\mathrm{C}\log_e \frac{\mathrm{E}_1}{\mathrm{E}_0} \tag{3}$$

pourrait donner t_1 qui, transportée dans l'équation $x = f(t)$, donnerait la résistance d'isolement cherchée

$$x_1 = f(t_1).$$

La fonction inconnue $f(t)$ pourrait être déterminée par interpolation ou autrement en effectuant une série de mesures avec des valeurs différentes de t_1, à condition bien entendu que la forme de la fonction soit supposée connue. Mais cette fonction varie nécessairement de forme avec la nature de l'isolant à étudier, et de plus les constantes de la fonction changent avec les dimensions et la forme sous lesquelles l'isolant est utilisé. Ainsi dans un câble armé à conducteur unique la fonction n'aura pas les mêmes constantes qu'avec un

câble à plusieurs conducteurs torsadés; et dans deux câbles simples à épaisseurs différentes d'isolation la fonction n'aura pas les mêmes constantes (1).

En réalité, ces remarques s'appliquent également, quoique à un degré moindre, au diélectrique du condensateur. Sa résistance d'isolement ρ n'est pas constante non plus pendant la durée de la décharge, elle est une fonction $\varphi(t)$ du temps, de sorte que l'équation différentielle fondamentale devrait s'écrire

$$dt = -\mathrm{C}\,\frac{\varphi(t).\,f(t)}{\varphi(t)+f(t)}\,\frac{d\mathrm{E}}{\mathrm{E}}.$$

Les constantes de la fonction $\varphi(t)$ devraient être déterminées et connues pour chaque mesure, puisque les propriétés d'un diélectrique dépendent des « électrifications » antérieures.

On voit à quelles complications on est entraîné, si l'on veut rattacher les résultats obtenus avec la méthode de perte de charge à la définition de la résistance d'isolement. Il n'est pas étonnant, dès lors, que ces résultats diffèrent du tout au tout de ceux que donne la méthode de déviation, qui est non seulement la méthode la plus généralement employée dans l'industrie, mais aussi la plus rationnelle par la précision et l'exactitude de ses résultats.

Les méthodes utilisant la charge ou la décharge de condensateurs passent généralement pour les plus sensibles, et cet avantage aurait sa valeur quand il s'agit d'opérer sur des quantités très faibles de substances diélectriques. Mais, d'une part, c'est surtout sur les échantillons de matières isolantes qu'il est important d'avoir des résultats comparables entre eux et susceptibles d'une interprétation simple au point de vue des applications. D'autre part, les galvanomètres genre Thomson construits actuellement permettent d'employer la méthode de la déviation à la mesure des substances les moins conductrices que l'on puisse rencontrer, sauf peut-être certaines porcelaines sous forme d'isolateurs spéciaux où la question de l'isolement est moins importante que celle de la sécurité au point de vue de l'étincelle de rupture suivant la surface.

A ce propos, il est utile de remarquer que l'on ne demande peut-être pas toujours au galvanomètre Thomson tout ce qu'il peut donner. Il est évident que si, en employant la méthode de la déviation, on ne dispose que d'une résistance de comparaison de 100 000 ohms et d'un shunt au 1/10 000, la sensibilité sera limitée par l'obligation de se contenter de déviations ne sortant pas des limites de l'échelle, alors que souvent la sensibilité du galvanomètre utilisée dans ces conditions est très inférieure à celle dont l'appareil est susceptible.

Ainsi, nous avons eu entre les mains un galvanomètre Thomson qui shunté au 1/10000 donnait 500 divisions sur l'échelle, avec 1 mégohm et 250 volts. Avec cette sensibilité, un échantillon d'une substance diélectrique « électrifiée » pendant 5 minutes donnait 10 divisions. On en réunissait les armatures, pendant qu'on augmentait la sensibilité du galvanomètre jusqu'à la dernière extrémité. Une nouvelle mesure avec l'échantillon donnait 500 divisions sur l'échelle après 5 minutes de charge. La sensibilité du galvanomètre était donc cinquante fois plus élevée.

Une substance qui donnerait 10 divisions seulement avec cette nouvelle sensibilité aurait donc une résistance d'isolement de 250×10^6 mégohms, et si elle a la forme d'une

(1) Ainsi qu'il sera dit plus loin, la fonction change même avec deux longueurs différentes de deux câbles identiques.

plaque d'une surface de 250 cm² et d'une épaisseur de 0,1 cm, sa *résistivité d'isolement* serait de

$$\frac{250 \times 10^6 \times 250 \times 10}{10} = 62\,500 \times 10^6 \text{ mégohms-cm.}$$

Or une bonne qualité de paraffine n'a guère que 50 000 × 10^6 mégohms-cm environ, à 25° C.

Néanmoins, pour les mesures à effectuer sur des échantillons de substances isolantes il est bon de n'en être pas réduit à lire quelques divisions seulement et à commettre des erreurs relatives considérables, d'autant plus que les variations du zéro auxquelles sont sujets les galvanomètres Thomson compromettent singulièrement l'exactitude des lectures très faibles. Il est la plupart du temps possible de placer la substance isolante à étudier entre deux surfaces métalliques assez étendues et assez rapprochées pour que le condensateur ainsi formé ait une capacité mesurable. On s'astreindra à adopter la même forme et le même écartement des surfaces métalliques pour une série de mesures de comparaison. On commencera par mesurer dans chaque cas, très exactement la capacité du condensateur obtenu [1] ; on étudiera ensuite la variation de la résistance d'isolement avec la durée de charge au moyen de la méthode de la déviation, et on notera le temps au bout duquel ces variations resteront inappréciables, soit deux minutes [2]. On chargera alors pendant le temps nécessaire pour que le courant de charge ait disparu [3]. On abandonnera ensuite le condensateur à lui-même pendant deux minutes exactement. A ce moment, la résistance d'isolement peut être supposée constante, comme il vient d'être dit. On prendra l'élongation de décharge à cet instant, soit α_0 ; on recommencera plusieurs fois cette opération, pour vérifier qu'on obtient bien chaque fois la même élongation α_0. Dans une dernière opération, on déchargera non pas au bout de deux minutes, mais au bout de quatre par exemple ; soit α_1 l'élongation obtenue. Le rapport $\frac{\alpha_0}{\alpha_1}$ est égal au rapport $\frac{E_0}{E_1}$ des tensions existant entre les armatures au bout de deux minutes et de quatre minutes de décharge ; mais comme la résistance d'isolement est constante dans l'intervalle, la formule (1) est exacte et il suffira d'y remplacer $\frac{E_0}{E_1}$ par $\frac{\alpha_0}{\alpha_1}$ pour obtenir une valeur de x, qui a cette fois une signification très précise et qui se prête à des mesures de comparaison avec d'autres échantillons. Si l'on a soin de construire une fois pour toutes une échelle de résistances d'isolement obtenues sur des diélectriques de valeurs très différentes, les valeurs les plus faibles de cette table pourront être comparées aux résultats donnés par la méthode de la déviation qui leur sera applicable, et de proche en proche, un résultat nouveau pourra être toujours ramené à celui que donnerait la méthode de la déviation.

Si l'on remarque enfin que ce mode d'application de la méthode de la perte de charge s'effectue avec les tensions élevées avec lesquelles on mesurera par la méthode de la déviation l'isolement des câbles où entrera la substance étudiée, on voit que c'est là le

---

(1) Ces capacités sont toujours très faibles, mais en employant des tensions suffisantes et des condensateurs à capacités variables et capables de supporter ces tensions, on arrivera toujours à obtenir des élongations notables.

(2) On verra plus loin que ces variations acquièrent très rapidement un taux excessivement faible avec des capacités de plus en plus petites.

(3) Ce temps est de quelques secondes, en général ; on le constatera au moyen des élongations obtenues après différents temps de charge et le temps qui correspond à la plus grande élongation qu'on puisse obtenir sera celui qu'on adoptera pour la durée de la charge.

seul moyen simple et rationnel de se rendre compte, par une mesure de laboratoire, de la valeur relative d'un isolant pour les divers usages auxquels on le destine [1].

Cette application n'aurait pas sa raison d'être pour la mesure d'isolements des câbles électriques ; la méthode de la déviation est d'un emploi beaucoup moins délicat et moins long, quand on a affaire à des isolements de l'ordre du millier de mégohms. Les résultats que donne cette dernière méthode sont susceptibles d'une interprétation très précise, qu'on néglige trop souvent dans la pratique, comme on le voit dans bien des cahiers des charges. Quand on impose à un constructeur tel isolement kilométrique, on ne précise pas suffisamment les conditions de l'essai ; il est entendu que la mesure devra se faire avec la méthode de la déviation, mais il est nécessaire de plus de fixer la tension de mesure, la durée de charge et les longueurs de câbles sur lesquelles on devra opérer. Les courbes de la figure 3 mettent ces faits en évidence. Elles indiquent les variations du courant de mesure avec le temps ; et l'on voit ce qu'il y a de peu précis dans la lecture faite au bout de 1 et même 2 minutes de charge, le taux de la variation y est encore si élevé qu'on ne peut logiquement rien induire de ce résultat, au point de vue de l'isolement d'une ligne en exploitation. Prenons, par exemple, un câble destiné à une ligne à courant continu. En service ce câble sera soumis pendant des heures entières à une tension de 200 volts par exemple ; que devient dans ces conditions le courant de perte à travers l'isolant ? Toutes les courbes de la figure 3 sont asymptotes à l'axe des temps ; le courant de perte tend donc vers zéro. Autrement dit, dans une ligne à courant continu en service pendant un temps plus ou moins long, le courant de perte n'existe plus dans le diélectrique des câbles [2]. C'est bien là, d'ailleurs, la notion fondamentale qui sert à distinguer les diélectriques des conducteurs, les premiers étant seuls susceptibles de contenir des électricités libres dans toutes les parties de leur masse [3]. On a admis que le diélectrique est le siège d'une sorte de polarisation qui croît avec le temps jusqu'à une limite déterminée, comme croît la torsion d'un fil soumis d'une manière prolongée à l'action d'un couple constant. On s'explique que cette polarisation augmente en raison inverse de la capacité, de même que dans un fil cylindrique la torsion résiduelle dépend du coefficient d'élasticité relatif à la torsion [4].

---

(1) L'emploi de ces tensions élevées a en outre l'avantage de rendre les mesures suffisamment indépendantes de la tension employée, quel que soit le diélectrique à étudier, ce qui n'a pas lieu si l'on se servait des basses tensions.

Cette façon de procéder dispense de tenir compte des imperfections du condensateur étalon qui ne sert plus que pour la mesure de la capacité de l'échantillon.

(2) Les pertes par défaut d'isolement signalées dans le service d'une station sont en réalité des pertes à travers des corps conducteurs en relation avec les extrémités des lignes ou des appareils d'utilisation (humidité, poussières conductrices, etc...), ou même à travers des filets conducteurs disséminés à l'intérieur d'une enveloppe isolante défectueuse.

(3) On pourrait supposer, sans cela, qu'en maintenant une différence de potentiel constante aux armatures d'un condensateur, dont la lame isolante est très mince, les électricités de signes contraires finiront par se réunir à travers le diélectrique et qu'un régime permanent s'établira. Si on tente l'expérience avec un condensateur étalon à mica, on vérifie que le courant tend rapidement vers zéro et au bout d'un certain temps les instruments les plus sensibles ne peuvent mettre en évidence la plus légère trace de courant. (Voir *Comptes rendus*, t. CX, p. 846, 1890).

(4) Pour ce qui est des lignes à courant alternatif, la polarisation ne se produit évidemment que d'une façon inappréciable à la fréquence de 25 à 50 périodes, ce qui correspond à des durées de charge de $\frac{1}{25}$ à $\frac{1}{50}$ de seconde; il ne peut évidemment rien se produire dans le diélectrique qui ressemble à un régime de courant, comme le montre l'inspection des courbes de la figure 3 dans les premières secondes, où toute la déviation du galvanomètre est due au courant de charge sur la capacité des câbles. L'isolation plus ou moins forte des câbles destinés au courant alternatif n'a plus aucune signification ; c'est la résistance à l'étincelle de rupture qui doit uniquement entrer en ligne de compte.

La figure 3 montre avec quelle rapidité la polarisation varie avec le temps suivant les différentes capacités. Entre autres, les courbes III et IV sont prises sur des câbles isolés de la même manière ; le fait que les courbes se coupent à un moment donné montre que l'on peut faire des erreurs notables dans la comparaison des isolements de deux câbles, suivant l'époque à laquelle on prend les lectures. Cette incertitude est encore plus préjudiciable quand on doit évaluer l'isolement d'une ligne posée de plusieurs kilomètres. La courbe I montre avec quelle lenteur se produit la polarisation, pour des capacités approchant du microfarad. Or il n'est pas rare de voir faire des mesures d'isolements sur des

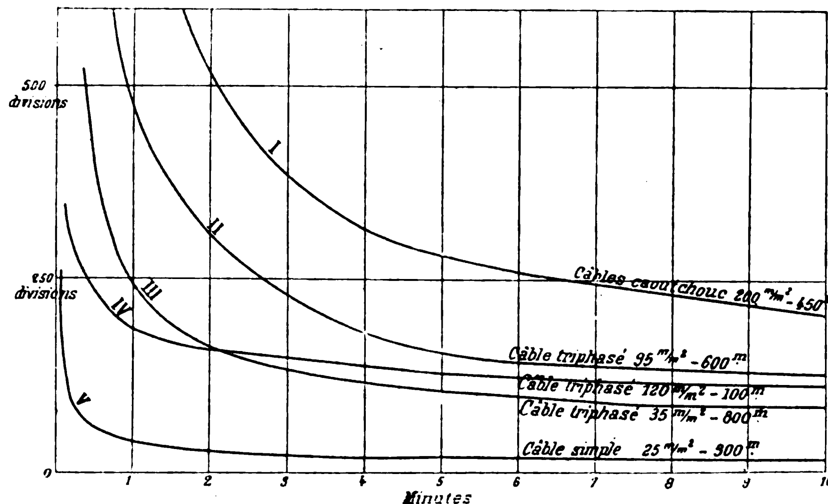


Fig. 3. — Variations de l'isolement avec la durée de charge.

A n divisions des ordonnées correspondent $\frac{450\,000}{n}$ mégohms.

Les capacités des câbles I à V sont respectivement : I, 0,56 *mf*; II, 0,119 *mf*; III, 0,146 *mf*; IV 0,058 *mf*; V, 0,018 *mf*.

lignes ayant plusieurs microfarads de capacité ; quelle sera la durée de charge à adopter, puisque l'on ferait une erreur capitale en adoptant pour de telles lignes la durée de deux minutes de charge que l'on prend la plupart du temps, pour les longueurs de 100 à 200 m en fabrication ? D'après ce qui précède, en effet, on peut obtenir des résultats différents du simple au quintuple, en prenant la même durée de charge pour une longueur de 100 m et pour une longueur de plusieurs kilomètres et en ramenant toutes les mesures au kilomètre (1).

Sans avoir l'intention de donner à la question une importance primordiale qu'elle ne mérite pas en pratique, puisque l'expérience a montré que le *modus vivendi* actuel existait sans grands inconvénients, il nous semble néanmoins désirable que, tant qu'à parler d'isolement et de faire de cette notion une grandeur mesurable, un peu de précision (2) aurait au moins l'avantage de faire éviter des contestations entre clients et constructeurs.

---

(1) Ainsi un cahier des charges impose à un constructeur un isolement kilométrique de 750 mégohms au kilomètre, après 2 minutes de charge, sans spécifier si l'essai doit être fait sur les longueurs de fabrication ou sur les lignes une fois posées. Le constructeur pourra s'en tenir aux 750 mégohms en fabrication, sans qu'il y ait mauvaise foi de sa part ; mais le client qui mesurera l'isolement de la ligne posée, avec 2 minutes de charge, ne devra pas être surpris de le voir parfois inférieur à 100 mégohms et moins. C'est là une matière à contestations fâcheuses.

(2) Au point de vue scientifique, il y aurait lieu de rechercher la liaison entre le pouvoir inducteur spécifique des substances et l'allure de la polarisation. On peut dire, très grossièrement, que d'après les chiffres connus, les

Dans l'état actuel de la science, on ne peut guère songer à chercher une signification précise dans les résultats obtenus par une mesure d'isolement même astreinte à toutes les conditions de capacité et de durée de charge auxquelles nous venons de faire allusion. Ces conditions n'en sont pas moins importantes à définir : toute ambiguité disparaîtra quand on aura dit qu'un câble de telle longueur (ou ce qui revient au même, de telle capacité), devra avoir tel isolement kilométrique, au bout de tant de minutes de charge, à une température déterminée, en entendant par isolement kilométrique le résultat déduit, comme à l'ordinaire, d'une lecture obtenue par la méthode de la déviation.

Quelle est, au point de vue de la destination et de l'usage d'un câble, l'importance de la durée de charge adoptée ? On ne voit pas très bien l'influence que peut avoir sur la marche d'une station centrale le fait que l'ensemble des câbles présente un isolement kilométrique, soit de 100 mégohms, soit de 100 000 mégohms, toute question de sécurité à part. On s'en tient d'habitude à la durée de charge de deux minutes, à cause du temps limité dont on dispose pour ces essais en fabrication ; mais ce choix est non seulement arbitraire, mais peu rationnel. Considérons, en effet, un conducteur de 5 mm² enveloppé d'une gaine isolante de 3 mm d'épaisseur, et un deuxième de 1 000 mm², enveloppé d'une gaine de même composition et de même épaisseur que le précédent. Nous trouverons pour le premier, au bout de deux minutes de charge des isolements de 50 000 mégohms ; et pour le deuxième, des isolements de 500 mégohms ; or, si le diélectrique pouvait être assimilé à un conducteur, le rapport des deux isolements devrait être

$$\frac{\log_e \frac{D}{d}}{\log_e \frac{D'}{d'}} = \frac{\log_e \frac{8,5}{2,5}}{\log_e \frac{42}{36}} = 8,2$$

tandis qu'il est égal à 100 [1]. Malgré cela, le câble de 1 000 mm² se comportera aussi bien dans un service à courant continu que celui de 5 mm², le courant *de polarisation* devenant dans l'un et l'autre cas inappréciable au bout de quelques minutes de service, et l'identité d'épaisseur d'isolation les garantissant également bien tous deux contre des décharges de rupture.

Au contraire, l'inspection de la figure 3 montre qu'au bout d'un temps de charge suffisant toutes les courbes tendent à se confondre avec des droites très peu inclinées sur l'axe des temps, c'est évidemment dans cette région qu'il serait préférable de chercher une base de comparaison entre les différents isolements. On y trouverait tout d'abord l'avantage de ne pas attribuer à un câble un isolement supérieur à un autre par ce fait seul qu'on ne les a chargés que deux minutes (courbes III et IV) alors que le résultat serait tout différent au bout de cinq ou six minutes. Puis, on ne risquerait pas de trouver des isolements kilométriques différents pour un câble suivant la longueur que l'on essaie, et, par suite, l'isolement kilométrique sur une ligne posée de plusieurs kilomètres s'écarterait peu de celui qu'on obtient en fabrication sur des couronnes d'une centaine de mètres. En un mot, il y aurait plus de logique à faire toutes les lectures au bout d'un temps suffisant pour que les variations de la déviation avec le temps soient très faibles ; dans ces conditions, il serait même inutile

---

isolements mesurés par divers physiciens varient en sens contraire des pouvoirs inducteurs spécifiques, et étant donné la connexité de ces deux notions, il n'est pas impossible qu'une loi très simple relie ces deux ordres de phénomènes. La diversité des conditions dans lesquelles ont été obtenus les nombres connus, explique la difficulté à apercevoir cette relation simple.

[1] Ces nombres sont de l'ordre de ceux que l'on rencontre en pratique.

de spécifier, à une ou deux minutes près, la durée de charge : on pourrait se contenter de prendre, en règle générale, les lectures à l'époque où la déviation ne varie que de 5 p. 100 de la déviation totale pendant une minute. Les isolements ainsi obtenus seraient, en général, doubles ou triples de ceux qu'on indique actuellement ; il suffirait de s'en souvenir dans l'établissement des cahiers des charges pour ne rien changer à la pratique actuelle. Les courbes IV et V montrent même qu'en opérant sur les faibles longueurs de fabrication, les déviations après dix minutes diffèrent peu de celles obtenues après deux minutes, quand les capacités sont inférieures à 0,05 de microfarad.

Sans vouloir nous étendre davantage sur l'utilité pratique de cette façon de procéder sur laquelle nous poursuivons nos recherches expérimentales, nous terminerons cet article en réfutant l'objection qu'on pourrait y faire et consistant dans le temps considérable que demanderaient, en particulier, les essais de fabrication, si l'on devait s'astreindre à charger les câbles de cinq à dix minutes avant de faire la lecture.

Supposons que l'on ait à faire l'essai d'isolement de 10 câbles triphasés (à 3 conducteurs torsadés) ; en opérant, comme à l'ordinaire, avec 2 minutes de charge, il y aura $3 \times 10 = 30$ essais à faire, qui demanderont $30 \times 2 = 60$ minutes pour électrification, et $30 \times \frac{1}{2} = 15$ minutes pour changement de connexions et transmission des signaux entre le laboratoire et l'atelier ; soit environ 75 minutes pour l'essai d'isolement des 10 câbles.

Supposons que nous reliions à la fois les 10 conducteurs en essai à l'appareil de mesure et que nous chargions 5 minutes cet ensemble de dix conducteurs. Soit x, l'isolement du système des 10 conducteurs, $x_1, x_2, \dots, x_{10}$, l'isolement individuel de chaque conducteur, on a

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \dots + \frac{1}{x_{10}} \tag{2}$$

car toutes ces résistances sont en quantité par rapport au pôle de l'appareil d'essai qui est réuni aux conducteurs dont on cherche l'isolement [1].

Soient $A_1, A_2, \dots, A_{10}$ les déviations du galvanomètre correspondant aux résistances $x_1, x_2, \dots, x_{10}$ supposées mesurées séparément ; B_{10} la déviation correspondant à X et obtenue avec le système des 10 conducteurs au bout de 5 minutes ; C la résistance en mégohms correspondant à une déviation d'une division. On a :

$$X = \frac{C}{B_{10}} \qquad x_1 = \frac{C}{A_1} \qquad x_2 = \frac{C}{A_2} \dots \quad x_{10} = \frac{C}{A_{10}}. \tag{3}$$

Donc, d'après l'équation (2) ci-dessus

$$\frac{B_{10}}{C} = \frac{A_1}{C} + \frac{A_2}{C} + \dots + \frac{A_{10}}{C}$$

d'où

$$B_{10} = A_1 + A_2 + \dots + A_{10}.$$

Supprimons la communication entre le conducteur d'indice 10 et l'appareil d'essai ; la déviation sur l'échelle diminue et devient B_9 que l'on note. On enlève le câble d'indice 9, et on lit B_8 et ainsi de suite. On a la série des relations suivantes :

$$\left.\begin{array}{l} B_{10} = A_1 + A_2 + \dots + A_9 + A_{10} \\ B_9 = A_1 + A_2 + \dots + A_9 \\ \vdots \qquad \vdots \qquad \vdots \\ B_2 = A_1 + A_2 \\ B_1 = A_1 \end{array}\right\} \tag{4}$$

[1] Pour tous les détails sur l'application de cette méthode, voir notre ouvrage *Essais et vérifications des canalisations électriques*, Ch. Béranger, éditeur, 1901.

Donc aussi :

$$\left.\begin{array}{l} B_{10} - B_9 = A_{10} \\ B_9 - B_8 = A_6 \\ \vdots \quad\; \vdots \\ B_3 - B_2 = A_3 \\ B_2 - B_1 = A_2 \\ B_1 \quad\quad = A_1 \end{array}\right\} \quad (5)$$

Et le système d'équations (2) donnera les isolements $x_1, x_2, \ldots, x_9, x_{10}$.

On opérera de même pour les 2e et 3e conducteurs de chaque câble réunis successivement en séries de 10. Il y aura en tout trois essais demandant chacun 5 minutes pour charge, 1 minute pour lectures, 1 minute pour changement de série, soit en tout

$$3 \times 7 = 21 \text{ minutes}$$

au lieu des 75 minutes de l'essai précédent ; soit par conséquent une économie de temps de 72 p. 100 sur l'essai ordinaire.

De cette façon, les mesures d'isolement deviennent même plus rapides qu'en opérant séparément sur chaque câble, les lectures sont beaucoup plus nettes et plus précises et leur signification acquiert une valeur beaucoup plus sérieuse que celles que l'on prend, comme à l'ordinaire, sur un phénomène en pleine variation, les lois de ces variations étant non seulement inconnues, mais encore dépourvues de toute interprétation précise.

P. Charpentier.

CANALISATIONS ÉLASTIQUES A COURANTS TRIPHASÉS (1)

Conduites triphasées avec montage en étoile des récepteurs de courant — Si les récepteurs de courant sont montés en étoile, on doit mener ou une conduite médiane — comme dans le système à 4 fils — ou bien il faut exclure le cas où les diverses phases sont chargées différemment. Le montage en étoile sans conduite médiane est, pour cette raison, en général utilisable dans le cas de moteurs. Le schéma de conduite est représenté dans la figure 20, le diagramme correspondant est représenté dans la figure 21.

Calcul des conduites avec charge égale des 3 phases. — La perte de puissance dans les 3 conduites est, comme dans le montage en triangle,

$$e = 3J_a^2 R ;$$

par suite on a pour la section Q des conducteurs,

$$Q = \frac{3J_a^2 L}{e} \rho = \frac{3J_1^2 L}{e} \rho. \quad (5)$$

car le courant de conduite est maintenant égal au courant de charge, $J_a = J_1$.

En introduisant la puissance, on obtient exactement comme précédemment l'équation

$$Q = 100 \frac{W}{E^2 \cos^2 \varphi} \frac{L\rho}{p} = 175 \frac{W_{HW}}{E^2 \cos^2 \varphi} \frac{L}{p} \quad (6)$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 8 février, t. XXX, p. 203.

La chute de tension ou perte de tension est

$$\varepsilon_1 = J_1 R,$$

et de là on déduit

$$Q = \frac{J_1 L}{\varepsilon_1} \rho \qquad (7)$$

Admettons maintenant, pour la comparaison du montage en étoile avec le montage en triangle, que les récepteurs de courant soient les mêmes dans les deux cas, par suite que les courants J_1 $(= J_2 = J_3)$ et les tensions E_1 $(= E_2 = E_3)$ dans les deux systèmes soient aussi égaux. Si nous convenons d'affecter de l'indice e les quantités se rapportant au montage en étoile, de l'indice t celles qui se rapportent au montage en triangle, enfin de l'indice $2l$ celles qui sont relatives à une ligne à deux conducteurs, nous aurons :

$$Q_e : Q_t = 1 : 3.$$

On a donc

$$Q^e : Q_t : Q_{2l} = 1 : 3 : 6.$$

et les rapports des quantités de métal sont

$$M_e : M_t : M_{2l} = 1 : 3 : 4 = 25 : 75 : 100. \qquad (8)$$

Ces relations s'appliquent si, pour un montage en étoile, il n'existe pas de conduite médiane. La tension des lignes est alors naturellement

$$E_{12} = \sqrt{3}\, E_1.$$

Si les tensions des lignes doivent être égales l'une à l'autre, le courant dans le montage en étoile, pour la même puissance, doit être muliplié par $\sqrt{3}$. La section et les quantités de métal sont alors 3 fois plus grandes qu'auparavant et nous obtenons alors

$$M_e : M_t : M_{2l} = 3 : 3 : 4 = 75 : 75 : 100. \qquad (9)$$

Influence des différences de charge des 3 phases. — Si des différences de charge dans les phases sont possibles, comme c'est toujours le cas pour des charges de lampes à incandescence, nous devons, comme plus haut, nous poser les questions de savoir si les pertes de puissance et de tension de la charge maxima uniforme sont les plus grandes qui puissent se produire, de manière à limiter les oscillations de puissance et de tension, par suite si l'on doit les prendre comme base de calcul relatif à l'élasticité. Nous ferons cette recherche en dressant le diagramme pour un système de conduite calculé, avec, comme base, la perte de tension ε_r et la perte de puissance e_r pour une charge maxima uniforme et en faisant ensuite décroître la charge des phases respectives. On a alors

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_r$$

pour la charge maxima. La section de la conduite médiane doit être égale à la section des conduites extérieures.

Dans le diagramme de la figure 23, qui est dressé pour le schéma de conduite 22 il faut d'abord n'envisager que l'étoile des vecteurs des courants, qui représente en même temps les chutes de tension ε_1, ε_2 et ε_3, si nous choisissons convenablement l'échelle. La perte de tension est égale à la chute de tension, car les ε sont en phase avec le courant. Le diagramme est, comme dans le montage en triangle, en supposant une même section de conduite, dressé de manière que les pertes de tension de la charge maxima soient seulement le tiers de celles du montage en triangle ; (voir les ε_1, ε_2 et ε_3 de la figure 23 comparativement avec ceux de la figure 16). L'introduction de la self-induction dans les résistances de charge ne change pas le schéma, mais tourne seulement l'étoile (qui n'est pas dessinée) des vecteurs de la tension de l'angle de décalage des phases.

Si quelque courant de charge, par suite de conduite, varie, il doit passer alors dans la

conduite médiane un courant de la valeur de la diminution de charge et de même direction de vecteur que celle que le courant existant encore dans la conduite possède, de façon que la somme algébrique des courants au point o soit nulle. Ainsi si J_3 diminue, J_0 augmente dans la même mesure et dans la même direction et provoque de la même façon une chute de tension ε_0 dans la conduite. Mais la valeur négative de celle-ci s'ajoute maintenant à la chute de tension ε_1 et l'addition graphique donne, dans le vecteur $\overline{O\,2}$ la chute de tension pour J_1 si J_3 est égal à o. Le point final de ε_1 s'est donc déplacé de 1 vers 2.

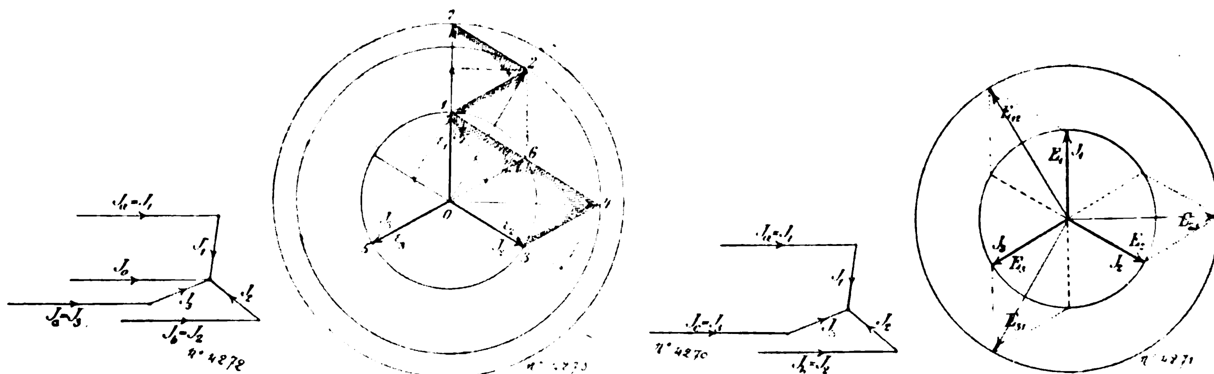


Fig. 20 à 23.

La même chute dans la conduite médiane doit être ajoutée négativement à ε_2, cela revient à admettre que J_3 diminue de 3 à 4 tandis que enfin la chute de tension ε_3 se déplace de 5 vers 6. Pour le courant $\frac{1}{2}$ $J_3 . \varepsilon_3$ était tombé d'abord à o.

Laissons maintenant J_2 décroître, les rotations sont alors tout à fait semblables : pour ε_2 la perte

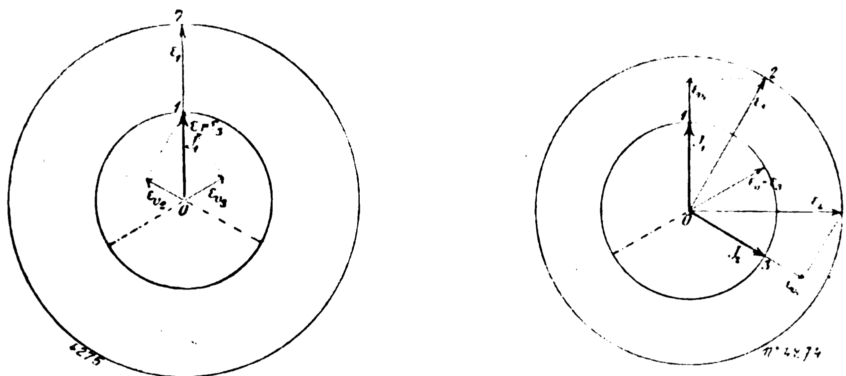


Fig. 24 et 25.

négative de la conduite médiane $\varepsilon_0 = \varepsilon_2$ doit être ajoutée et l'extrémité de ε_1 se déplace de 2 vers 7. La variation de ε_2 est plus grande, car maintenant d'un côté la composante $\overline{O\,3}$ diminue, mais de l'autre côté aussi une composante dans la direction opposée augmente, ce qui correspond à une diminution de $\overline{O\,3}$ avec double vitesse vers O ; ε_2 se meut par suite de 4 vers 1 par 6. Pour $\varepsilon_3 = \overline{O\,6}$, enfin, il faut également maintenant, comme pour ε_1, ajouter la valeur négative de $\overline{O\,3}$, l'extrémité de ε_3 se déplace ainsi de 6 vers 1.

Le diagramme applicable au cas $J_1 = J_2$ et $J_3 = o$ et celui pour $J_2 = J_3 = o$ est dessiné à part dans les figures 24 et 25. Les pertes de tension ε_t sont obtenues par projection des chutes de tension sur les vecteurs des courants et on obtient :

1° Si $J_3 = o$, $J_1 = J_3 = \max$.

$\varepsilon_1 = \sqrt{3}\,\varepsilon_r$	$\varepsilon_{v1} = 1,5\ \varepsilon_r$
$\varepsilon_2 = \sqrt{3}\,\varepsilon_r$	$\varepsilon_{v2} = 1,5\ \varepsilon_r$
$\varepsilon_3 = 3\,\varepsilon_r$	$\varepsilon_{v3} = -\,\varepsilon_r$

2° Si $J_2 = J_3 = o$, $J_1 = \max$.

$\varepsilon_1 = 2\varepsilon_r$	$\varepsilon_{v1} = \varepsilon_r$
$\varepsilon_2 = \varepsilon_r$	$\varepsilon_{v2} = 0,5\ \varepsilon_r$
$\varepsilon_3 = \varepsilon_r$	$\varepsilon_{v3} = 0,5\ \varepsilon_r$

Nous voyons par là que — contrairement aux résultats obtenus dans le cas du montage en triangle — *les chutes de tension et particulièrement les pertes de tension pour une charge inégale des trois phases peuvent être d'abord plus grandes que dans le cas de charge maxima égale et secondement peuvent être aussi négatives.*

Nous voulons rechercher quelle grandeur peuvent avoir les oscillations de puissance dans le cas le plus défavorable et nous admettrons alors pour la commodité que le facteur de puissance des récepteurs de courant est égal à 1.

Dans ce cas les pertes de tension donnent une mesure directe des variations de tension ΔE. — Il faut déduire des premiers tableaux des pertes de tension donnés précédemment que l'oscillation maxima de tension s'élève à

$$(\Delta E)\ \max. = 2,5\ \varepsilon_r$$

et cette valeur est atteinte si la variation de charge se présente.

Premier cas. — Etat initial. — Deux charges (par exemple J_1 et J_2) ont la valeur maxima, la troisième (par suite J_3) est égale à o, c'est-à-dire pratiquement très petite ; dans ce cas, le troisième récepteur de courant est soumis à la perte de tension $\varepsilon_{v3} = \varepsilon_r$.

Etat final. — J_3 s'est accru jusqu'à sa valeur maxima, tandis que en même temps un des deux autres courants est devenu égal à o ; on a alors

$$E_{v3} = 1,5\ \varepsilon_r\ ;$$

par suite l'oscillation s'élève à

$$\Delta E_3 = 2,5\ \varepsilon_r.$$

On peut prouver de la même manière au moyen du deuxième tableau qu'il peut se produire une oscillation de tension de $2,5\ \varepsilon_r$. Mais la plus grande oscillation de tension est surtout atteinte, si la variation de charge correspond au cas suivant :

Deuxième cas. — Etat initial. — Un récepteur de courant (par exemple J_1) est complètement chargé, les deux autres sont égaux à o (voir deuxième tableau). On a alors

$$\varepsilon_{v1} = 2\ \varepsilon_r.$$

Etat final. — L'oscillation maxima de tension est alors

$$\Delta E_1 = 3\ \varepsilon_r.$$

Les oscillations de charge décrites ne sont pas très vraisemblables pratiquement, car pour avoir de l'importance pour l'élasticité (pour le fonctionnement de lampes à incandescence), elles doivent se produire en même temps et tout à coup.

La variation de charge la plus vraisemblable en pratique, qui peut être considérée comme variation maxima déterminant l'élasticité, est bien celle qui se produit dans le cas ci-dessous.

Troisième cas. — Une phase est tout entière mise hors circuit tout à coup en cas de charge maxima égale des 3 phases ou bien si, dans le cas d'une charge uniforme = o, l'on met brusquement en circuit une phase.

---

(1) L'indice v de ε est la première lettre de « verlust » qui signifie « perte » en allemand. — N. D. T.

Dans les deux cas on a

$$\Delta E = 2\,\varepsilon_r$$

car, d'après le premier tableau, la perte de la charge maxima passerait par exemple de $\varepsilon_{e3}\,\varepsilon_r = à - \varepsilon_r$; pour le deuxième cas, ε_{e2} monterait par exemple de o à 2 ε_r.

Si nous demandons maintenant aux conduites une élasticité parfaite il faut alors, dans l'hypothèse du deuxième cas du changement de charge, n'introduire dans le calcul (formule) que la perte de tension 1/3 ε_r ou, en admettant la restriction donnée dans le troisième cas, 1/2 ε_r. La dépense de métal du système se calcule alors, relativement à celle du système à deux conducteurs comme suit : en cas de même puissance, de mêmeperte et si le conducteur médian manque, on avait

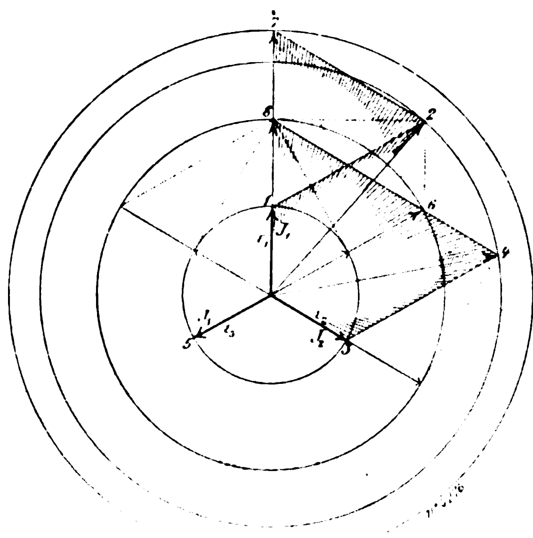


Fig. 26.

$$M_e : M_{2l} = 1 : 4.$$

Le conducteur médian avec même section que les conduites extrêmes élève M_e de 1/3, par suite on aurait

$$M_e : M_{2l} = 1{,}33 : 4 = 1 : 3. \qquad (10)$$

La condition de l'élasticité parfaite (deuxième cas) exige le tiers de la perte, par suite la section triple et il en résulte la même quantité de métal que dans le courant continu, ainsi

$$M_e : M_t : M_{2l} = 4 : 3 : 4 = 100 : 75 : 100. \qquad (11a)$$

En admettant le troisième cas des oscillations de charge, dans lequel il faut introduire la perte moitié, la section et la quantité de cuivre de l'étoile est donc double de celle d'auparavant, par suite

$$M : M_{2l} = 2 : 3$$

ou

$$M_e : M_t : M_{2l} = 8 : 9 : 12 = 66{,}7 : 75 : 100. \qquad (11b)$$

Nous voyons donc que *l'économie de métal sur laquelle on comptait ne se produit pas du tout ou seulement en faible quantité (dans le deuxième cas 33 p. 100), par suite des grandes oscillations de tension dépassant de beaucoup la perte de tension ε_r du calcul et des grandes oscillations de puissance.*

Les rapports seront encore plus défavorables si la section de la conduite médiane est prise égale à la moitié de celle des conduites extrêmes, si $Q_0 = 0{,}5\,Q_a$.

Le diagramme de la figure 23 se transforme alors en celui de la figure 26 car un courant déterminé provoque dans la conduite médiane la chute de tension double ε_0 de celle dans la conduite extérieure. La figure est compréhensible par la comparaison avec la figure 22 sans plus d'explications et l'on obtient

1° $J_3 = 0$, $J_1 = J_2 = \max.$

$$\varepsilon_1 = \sqrt{7}\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e1} = 2\,\varepsilon_r$$
$$\varepsilon_2 = \sqrt{7}\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e2} = 2\,\varepsilon_r$$
$$\varepsilon_3 = 2\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e3} = -2\,\varepsilon_r$$

2° Si $J_2 = J_3 = 0$, $J_1 = \max.$

$$\varepsilon_1 = 3\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e1} = 3\,\varepsilon_r$$
$$\varepsilon_2 = 2\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e2} = -\varepsilon_r$$
$$\varepsilon_3 = 2\,\varepsilon_r \qquad \varepsilon_{e3} = -\varepsilon_r$$

Si nous prenons maintenant des variations de charge exactement de la même façon que plus haut, il en résulte, pour le *premier cas*, l'oscillation de tension

$$\Delta E = 4\,\varepsilon_r\,;$$

pour le *deuxième cas*

$$\Delta E = 5\,\varepsilon_r\,;$$

le *troisième cas* donne l'oscillation de tension

$$\Delta E = 3\,\varepsilon_r$$

Le rapport des quantités de métal se calcule sans difficultés pour le deuxième cas, le plus défavorable ; ainsi

$$M_c : M_t : M_{2l} = 35 : 18 : 24 = 145{,}8 : 75 : 100 \qquad (11\ a)$$

et pour le troisième cas, le plus vraisemblable en pratique,

$$M_c : M_t : M_{2l} = 21 : 18 : 24 = 87{,}5 : 75 : 100. \qquad (11\ b)$$

L'économie de métal, qu'on espérait, se transforme donc, dans le premier cas, en une augmentation de 45,8 p. 100; dans le deuxième cas, elle s'élève seulement à 15 p. 100.

Les rapports, dans le système à trois fils, se présentent d'une façon tout à fait semblable et j'ai montré il y a quelques années [1] que, au cas où l'on demande pour le système une élasticité parfaite, ce système exige justement davantage de métal, pour les conduites, que le système à deux fils, qu'il n'est par suite applicable avec avantage que si les différences de charge des deux moitiés ne dépassent pas certaines limites. Mais, pour tenir compte de l'accroissement provoqué par la possibilité de telles différences de charge, on pose comme perte de tension du calcul, c'est connu, en règle générale, $\varepsilon_r = 1{,}5$ p. 100 contre 2 p. 100 dans le système à deux conducteurs. Et l'expérience a montré que le système à trois fils suffit aussi en général alors aux exigences de l'élasticité, si, dans certains cas, les sections de la conduite médiane sont prises encore plus petites que

$$Q_0 = 0{,}5\,Q_a$$

Nous rechercherons maintenant quelle doit être la différence de charge dans le système à trois fils si l'on admet

$$\varepsilon_r = 1.5 \text{ p. } 100$$

et si l'on admet aussi que

$$\Delta E = 2 \text{ p. } 100$$

Quelle doit être par suite la diminution de la charge J_1 dans l'une des moitiés pendant que l'autre conserve sa valeur maxima.

Si J_1 diminue, la perte de tension dans la conduite extérieure décroît et celle dans la conduite du milieu augmente. Les deux pertes se composent comme vecteurs de conduite par soustraction ; la perte totale ε_1 diminue donc jusqu'à ce qu'elle soit devenue égale à O pour une valeur déterminée de J_1, qui dépend du rapport des sections $\frac{Q_0}{Q_a}$. Pour une plus grande diminution de J_1 ε_1 est négative. On trouve la valeur pour laquelle cette diminution doit avoir lieu de la manière suivante :

On avait calculé avec la perte de tension

$$\varepsilon_r = 1{,}5 \text{ p. } 100$$

alors que l'on a admis

$$\Delta E = 2 \text{ p. } 100.$$

La valeur de l'élévation de tension doit donc encore croître de la quantité

$$2 - \varepsilon_r = 2 - J_1 R = 0{,}5 \text{ p. } 100.$$

Cela a lieu si dans la conduite extrême le courant γJ_1 passe, par suite aussi le courant $(1-\gamma)\,J_1$

[1] Voir le livre de l'auteur, Stuttgart, 1899.

****

parcourt la conduite médiane, on a alors

$$(1-\gamma)k\ J_1 R - \gamma J_1 R = 2 - J_1 R.$$

Ici k exprime le rapport des sections

$$k = \frac{Q_a}{Q_0};$$

γ se calcule au moyen de la relation

$$\gamma = 1 - \frac{2}{(k+1)\ J_1 R}.$$

Pour d'égales sections

$$Q_a = Q_0$$

et

$$J_1 R = 1{,}5;$$

on a par suite

$$\gamma = \frac{1}{3}$$

c'est-à-dire le courant J_1 pourrait décroître de 66,7 p. 100 de sa valeur sans que les limites des oscillations élastiques soient dépassées. Pour

$$Q_a = 2\ Q_0,$$

on a

$$\gamma = \frac{5}{9}$$

c'est-à-dire la diminution du courant pourrait s'élever à 44,4 p. 100.

Il faut maintenant nous demander quelle perte de tension ε_r du calcul l'on doit choisir pour le système triphasé si nous choisissons le troisième cas parmi les cas des différences de charge, présentés précédemment comme les plus vraisemblables en pratique, qui peuvent provoquer des élévations de tension désavantageuses; c'était le cas, dans lequel deux phases étaient chargées au maximum pendant que la charge d'une phase diminue. Comme base fondamentale on peut dire que (comme la pratique l'a confirmé pour le système à 3 conducteurs) une variation de charge de 66,7 p. 100 se produit dans le cas de $Q_a = Q_0$, et de 44,4 p. 100 pour $Q_a = 2\,Q_0$. Ici deux hypothèses sont encore admissibles; *premièrement*, l'une des phases doit diminuer de 66,7 p. 100 ou 44 p. 100 de sa propre valeur maxima, ou *secondement* la diminution doit être la même rapportée à la charge totale. Cette deuxième hypothèse est naturellement différente de la première, parce que la charge totale du système à 2 conducteurs = 2 J, celle du système à trois conducteurs = 3 J.

Si l'on veut maintenant admettre que la variation d'une phase d'après la première hypothèse a une valeur justement égale à celle de l'une des moitiés du système à 3 conducteurs, on peut voir facilement que la perte de tension du calcul doit être la même dans les deux systèmes. En effet la diminution de la perte de tension dans la conduite extrême et l'augmentation simultanée de la perte dans la conduite médiane s'accomplissent dans les deux cas d'une façon exactement égale (voir pour cela fig. 23 et 26), Mais l'hypothèse qu'on a établie pour base de cette considération, n'est en tout cas, au point de vue pratique, pas aussi justifiée que la deuxième, c'est-à-dire celle qui consiste à exprimer la diminution de charge en pour cent de la charge totale.

On peut l'expliquer dans un exemple : Une canalisation aboutit en un point auquel 6 jonctions de maison de même grandeur se subdivisent. D'après l'un des projets on amène les 3 conduites du système à ce point et les branchements sont répartis 3 par 3 sur les 2 moitiés. Si l'on calcule pour $\varepsilon_r = 1{,}5$ p. 100 et si les sections de conduite sont prises de même valeur, deux branchements de maison = 66,7 p. 100 peuvent être exclus tout à coup de l'une des moitiés sans que

$$\Delta E = 2 \text{ p. } 100$$

soit dépassée.

D'après l'autre projet, projet à courant triphasé, on monte chaque fois 2 branchements de maison dans une des phases du courant. Si nous exigeons maintenant la même variation de charge en pour cent de la charge totale, il faut décharger alors complètement une phase.

Dans ce cas, pour cette phase, la perte de tension varie de $+\varepsilon_r$ à $-\varepsilon_r$ (voir le premier tableau d'après la figure 25). L'oscillation de tension est donc de $2\varepsilon_r$ et comme on doit avoir

$$\Delta E = 2 \text{ p. } 100,$$

la perte de tension du calcul s'élève donc seulement à $\varepsilon_r = 1$ p. 100.

Ceci a lieu pour $Q_a = Q_0$. On peut établir la même démonstration pour le cas où $Q_a = 2 Q_0$. En effet dans ce cas :

La diminution de charge d'une moitié du système à 3 fils doit alors s'élever à 44,4 p. 100 du courant d'une moitié, par suite rapportée à la charge totale s'élever à 22,2 p. 100 et il restera 77,8 p. 100 en circuit.

Dans le cas du courant triphasé, la charge des 2 phases invariables enlève de là 66,7 p. 100, de sorte que la phase déchargée reste chargée avec 11 p. 100 du débit total. Cela fait 33,3 p. 100 rapporté à la charge maximum d'une phase. Dans ce cas la perte de tension s'élève à $-\varepsilon_r$, comme on peut le déduire à l'aide du diagramme de la figure 26, c'est-à-dire,

$$\varepsilon_3 = -\left(\frac{4}{3} - \frac{1}{3}\right)\varepsilon_r.$$

Mais l'oscillation de tension

$$\Delta E = 2 \text{ p. } 100$$

par suite

$$\varepsilon_r = 1 \text{ p. } 100$$

c'est-à-dire a la même valeur que plus haut.

Sans plus ample explication il apparait en partie des recherches qu'on vient d'établir que les oscillations de tension sont les mêmes, si au lieu de la diminution toujours admise jusqu'à présent de la charge d'une phase (ou des moitiés du système à 3 fils) chargée au maximum il se produit maintenant une augmentation à partir de la charge minima (c'est-à-dire zéro) de même valeur. Dans tous les autres cas, c'est-à-dire dans tous ceux où la charge d'une phase varie de la même quantité, mais où la charge invariable des deux autres phases est située entre o et le maximum, les oscillations de la tension sont plus petites. Les cas considérés sont donc effectivement les plus défavorables.

Nous avons maintenant acquis la base fondamentale, avec laquelle nous pouvons effectuer une comparaison exacte des quantités de métal c'est-à-dire la base qui consiste en ce que tous les systèmes se comportent de la même façon relativement aux oscillations (pratiques) de tension, par suite relativement à l'élasticité. Pour la clarté des choses, nous réunirons ensemble encore une fois tous les rapports *des quantités de métal*, qui peuvent avoir de l'importance ; dans tous les cas les tensions utiles des récepteurs de courant doivent être les mêmes, par suite les tensions des phases aussi

1° $-\varepsilon_r$ est le même dans tous les systèmes, il n'y a pas de conduite médiane

M^c	M_t	M_{3t}	M_{2t}
25	75	25	100

2° ε_r est le même, avec conduite médiane $Q_0 = Q_a$

33,33	75	37,5	100

3° ε_r est le même, avec conduite médiane $Q_0 = 0,5\ Q_a$

29,17	75	31,25	100

4° Les systèmes avec plusieurs phases (ou moitiés) ont une inégale charge, la différence de charge d'une phase en p. 100 de sa propre charge maxima est égale dans tous les systèmes (pour le montage en étoile *e* et le montage à 3 conducteurs $3l$, $\varepsilon_r = 1,5$; pour le montage en triangle *t* et le montage à 2 conducteurs $2l$, $\varepsilon_r = 2$)

		a) $Q_0 = Q_a$	
44,4	75	50	100
		b) $Q_0 = 0,5\ Q_a$	
38,89	75	41,67	100

5° Charge inégale des phases. La différence de charge d'une phase est égale en p. 100 de la charge totale dans tous les systèmes (pour *e*, $\varepsilon_r = 1$; pour $3l$, $\varepsilon_r = 1,5$; pour *t* et $2l$, $\varepsilon_r = 2$)

		a) $Q_0 = Q_a$	
66,7	75	50	100
		b) $Q_0 = 0,5\ Q_a$	
58,83	75	41,67	100

La dernière série, et en tout cas l'avant-dernière encore, contiennent les nombres au moyen desquels on peut comparer les systèmes le plus exactement s'ils doivent être également élastiques.

Dans les considérations, qui ont été établies pour la comparaison de l'élasticité ou de la dépense de métal des différents systèmes, on avait admis d'avance que les récepteurs de courant étaient sans induction.

Comment les relations se modifient-elles, si le facteur de puissance des récepteurs de courant $\cos\varphi$ est plus petit que 1, on peut le montrer ici brièvement :

Si dans un circuit à courant alternatif simple la perte de tension dans une conduite sans induction est de ε, la perte de puissance est alors εJ, opposée à la dépense de puissance utile $EJ \cos\varphi$. La perte de tension ne doit donc pas s'élever à *p* pour cent de la vraie tension, mais seulement à *p* pour cent de la tension projetée sur le vecteur du courant $E \cos\varphi$, si *p* désigne le chiffre en p. 100 de la perte de puissance admise.

Dans les conduites à courants triphasés il n'y a rien de changé sous ce rapport ; il faut tout au plus montrer que l'on doit comprendre par ε la *perte* de tension et non pas la *chute* de tension d'après les définitions données plus haut.

Professeur D[r] J. Teichmüller,
Karlsrühe.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Production d'un champ tournant. Système R. Bauch. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 16, 15 octobre 1901.

Si l'on sépare en deux, dans la direction des lignes de force, une partie d'un circuit magnétique excité par un courant alternatif et que l'un des chemins soit entouré par une bobine secondaire fermée (fig. 1), il y a une différence de phase entre les deux dérivations magnétiques qui peut atteindre jusqu'à près de 90°. Supposons qu'elle soit de 80° ; si l'amplitude du champ est la même dans les deux dérivations, le champ excité par la bobine primaire a une phase de 40° vis-à-vis des deux autres.

R. Bauch considère un circuit (fig. 2) séparé entre quatre parties *abc* et *d*. Une bobine entoure *a*, une autre *a* et *b*, une troisième *a*, *b* et *c*, tandis que les quatre parties *a*, *b*, *c* et *d* sont soumises à l'influence de l'enroulement primaire. Les quatre chemins magnétiques sont calculés de telle sorte que l'amplitude du champ soit la même. La bobine disposée sur *a* produit une

différence de phase de 40° entre le champ Z_a en *a* et le champ Z_b en *b*. Le chemin *a* et *b* de la bobine commune est tel que le champ produit Z_{ab} qui se compose de Z_a et de Z_b diffère de 60° en phase de celui Z_c de *c*.

La bobine qui entoure simultanément *a*, *b* et *c* produit un retard de 80° du champ Z_{abc} vis-à-vis de Z_d. Les quatre champs diffèrent ainsi successivement l'un de l'autre de 40° et, si l'on désigne par $i = J \sin \alpha$ le courant primaire dont Z_d dépend seul, on a :

$$Z_d = Jk \sin \alpha$$
$$Z_c = Jk \sin (\alpha - 40^\circ)$$
$$Z_b = Jk \sin (\alpha - 80^\circ)$$
$$Z_a = Jk \sin (\alpha - 120^\circ)$$

k étant une constante.

On obtient la différence de résistance magnétique par l'inversion dans le circuit de chemins d'air auxquels on donne différentes surfaces polaires ou longueurs (fig. 3 et 4).

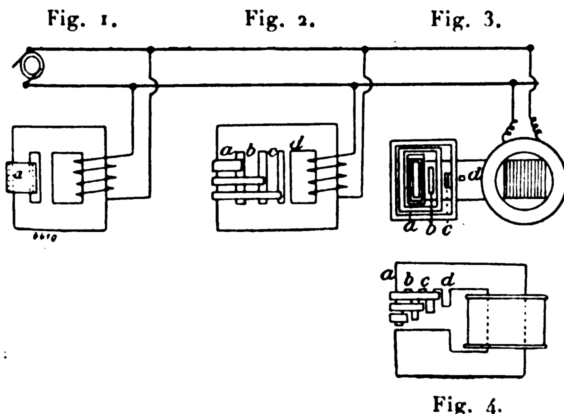


Fig. 4.

Si l'on dispose les deux pôles d'un aimant équipés de la même manière autour d'un cylindre de telle sorte que l'angle de recouvrement de chacun des chemins partiels soit égal à l'angle de la différence des champs successifs, on a la distribution magnétique suivante :

$$Z_a = Z \sin (\alpha - 120^\circ) \quad - Z_a = Z \sin (\alpha + 60^\circ)$$
$$Z_b = Z \sin (\alpha - 80^\circ) \quad - Z_b = Z \sin (\alpha + 100^\circ)$$
$$Z_c = Z \sin (\alpha - 40^\circ) \quad - Z_c = Z \sin (\alpha + 140^\circ)$$
$$Z_d = Z \sin \alpha \quad - Z_d = Z \sin (\alpha + 180^\circ)$$

On obtient ainsi un champ tournant, mais qui est interrompu en deux points à la zone neutre. L'interruption peut être éliminée de différentes manières. G. Goisot.

Disjoncteur automatique Siemens et Halske pour courants principaux. — *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 28, 1er novembre 1901.

La disposition employée par Siemens et Halske pour séparer les conducteurs de la source lors de la rupture de l'un d'eux n'exige qu'un fil auxiliaire; elle suppose que, à l'extrémité de la ligne, il y a une charge constante.

Soit *a* (fig. 1) la source, *e* et *f* les conducteurs et *b* la charge constante (résistance ohmique ou inductive, batterie d'accumulateurs, condensateurs, etc). Le conducteur auxiliaire *h* est inséré entre deux points correspondants *g* et *i* de *a* et de *b*, tels que pendant la marche normale il n'y ait pas de courant qui le traverse

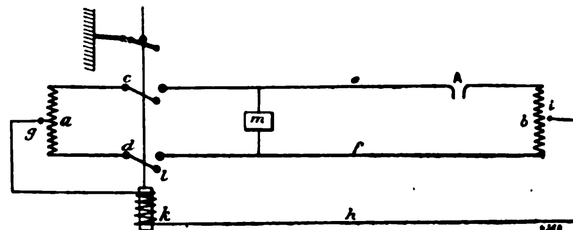


Fig. 1.

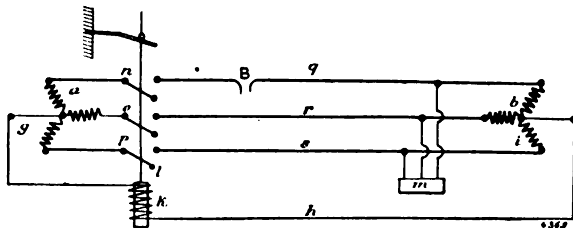


Fig. 2.

et qu'il en soit de même si toutes les charges dérivées, telles que *m*, sont supprimées. Si une rupture vient à se produire, en A par exemple, le conducteur *h* est traversé par un courant, la bobine *k* attire le noyau de fer *l* qui commande l'interrupteur *c d*.

Cette commande peut aussi se faire indirectement.

Le dispositif de Siemens et Halske s'applique plus particulièrement encore aux cas où il existe un conducteur neutre qui sert alors précisément de conducteur auxiliaire.

Tel est le cas de la figure 2, correspondant à une installation triphasée. Le conducteur neutre *h* relie les centres des étoiles *a* et *b*. G. Goisot.

APPLICATIONS THERMIQUES

Four électrique M. Ruthenburg à champ magnétique. *Electrical World and Engineer*, t. XXXVII p. 895, 30 novembre 1901.

Ce four, que M. M. Ruthenburg vient de faire breveter à Philadelphie, est destiné à fondre le minerai de fer en poudre, dont le traitement par les procédés ordinaires donne lieu à de sérieuses difficultés en raison de la trop grande compacité de la masse qui s'oppose au dégagement des gaz. Ces derniers, en effet, s'accumulent en un point et provoquent des explosions quand le feu les atteint. Le procédé en question s'applique à toutes les poudres de minerais magnétiques ; il consiste à maintenir ensemble, par l'excitation d'un électro-aimant, les aspérités des poussières métalliques, de manière à former une masse poreuse capable de supporter, non seulement la chaleur du foyer inférieur, mais aussi le poids de la colonne de poussière qui occupe la partie supérieure de cette masse.

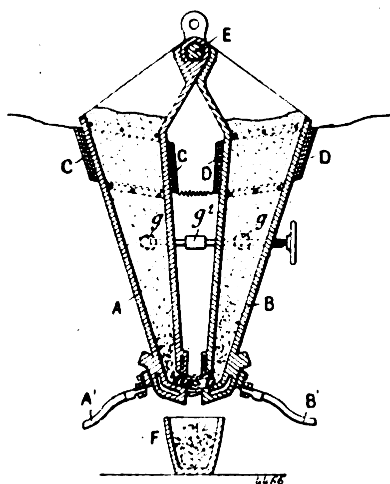


Fig. 1.

Le four électrique (fig. 1) se compose essentiellement de deux parties semi-coniques A, B, pivotées à leurs parties supérieures en E et isolées électriquement l'une de l'autre, bien que réunies au centre par une tige filetée *g*, *g*, avec raccord isolant g^2 et volant de manœuvre à l'extérieur. Les deux récipients A, B constituent les deux électrodes opposées d'un circuit A', B' et le champ magnétique est formé par l'enroulement C, D, qui peut être excité soit séparément, soit en série avec le circuit A' B' du creuset. Ce dernier est mobile et s'adapte à la partie inférieure du cône par un collier. Les cavités *a*, *b* que l'on voit de chaque côté sont destinées au passage de l'eau de réfrigération des parties voisines du foyer de chaleur. Un creuset F, placé au-dessous de l'ouverture inférieure du four pour recueillir les produits de la réduction, complète le dispositif.

Par la disposition de cet appareil, la poussière de minerai contenue dans chaque électrode est maintenue en suspens et facilite l'action de l'arc électrique en *a*, *b*.

Le brevet ne fait aucune mention quant à la quantité d'énergie d'excitation nécessaire pour maintenir le vide qui convient autour de la zone de chaleur de l'arc. De même, en ce qui concerne le côté pratique de la méthode, il ne parle pas de la relation qui peut exister entre la température de fusion du minerai et celle à laquelle l'agglomération se produit. L. Duet.

Compteur triphasé de Fritsch Trautmann. — *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 26, 1er novembre 1901.

Dans un système triphasé, l'énergie est donnée par l'égalité de Frölich :

$$\mathcal{E} = E_1J_1 + E_2J_2 + E_3J_3$$

où J_1, J_2, J_3 représentent l'intensité des courants qui parcourent les conducteurs 1, 2 et 3 (fig. 1),

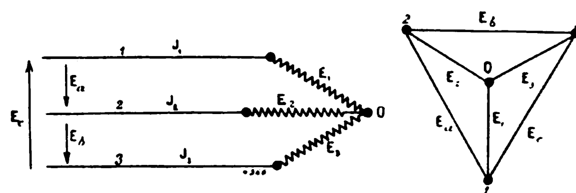


Fig. 1.

et E_1, E_2, E_3 les tensions existant entre ces trois conducteurs et le point O, qui leur est relié par des résistances égales. L'égalité précédente est utilisée de plusieurs façons dans la construction des instruments de mesure, d'après le principe de Ferraris. On peut utiliser trois bobines de courant et trois bobines de tension dont le champ est perpendiculaire sur E_1, E_2, E_3 ; ou bien en remarquant, que $J_1 + J_2 + J_3 = 0$ n'employer que deux bobines de courant.

L'inconvénient de ces dispositions réside dans la consommation constante du courant dans les

bobines de tension. Le procédé de Trautmann permet d'abaisser cette perte; il est basé sur la remarque que dans un électro-alternatif l'énergie nécessaire à son excitation est proportionnelle à l'expression

$$M^2 \cot \alpha,$$

où M est le magnétisme et α la différence de phase entre la tension excitatrice et le courant qui circule dans l'électro. Comme $\cot \alpha$ décroît très rapidement lorsque α croît, on diminuera la consommation de la dérivation en rendant α le plus grand possible. A cet effet, on fait agir dans la bobine de courant principal un champ magnétique résultant du courant principal et d'un courant induit par lui dans un enroulement fermé et différant de γ avec la phase du courant principal.

On a $\alpha = 60° + \gamma$ et, comme on peut facilement atteindre $\gamma = 20°$, il en résulte que la consommation en dérivation peut être réduite dans le rapport $\frac{\cot 80°}{\cot 60°} = 0{,}305$, soit une réduction de 30 p. 100 sur la consommation qui aurait lieu sans l'enroulement auxiliaire fermé.

G. Goisot.

DIVERS

Capacité de polarisation du platine poli, par **P. Schönherr**, *Dr. Ann.*, t. VI, 116-125.

Capacité de polarisation du platine, par **E. Warburg**, *Dr. Ann.*, t. VI, 125-136, septembre 1901.

M. Schönherr mesure la capacité de polarisation du voltamètre à lames de platine par la méthode employée déjà par M. Wien, Orlich et E. Neumann.

Elle consiste à compenser cette capacité dans un réseau de Wheatstone par une induction propre variable, pour un courant de fréquence donnée.

Cette capacité de polarisation diminue quand augmente le temps pendant lequel le voltamètre a été mis dans le circuit. Si on chauffe le voltamètre, la capacité augmente d'abord, puis diminue et quand on revient à la température primitive, elle reste beaucoup plus petite qu'elle n'était au début : cette variation s'explique par la diminution de la masse de gaz qui se trouve à la limite de l'électrolyte et de l'électrode.

En effet, si on introduit de l'hydrogène dans le voltamètre, la valeur de la capacité augmente notablement.

La capacité des électrodes polarisées augmente quand la période du courant augmente.

Si on porte le platine à l'incandescence dans le vide de manière à éliminer les gaz occlus, la capacité de polarisation augmente beaucoup : mais elle diminue rapidement ensuite et au bout de trois jours à une valeur qui peut n'être que le dixième de la valeur primitive.

M. Warburg étudie théoriquement le phénomène de la polarisation à la surface d'une électrode sous l'action d'un courant sinusoïdal. S'il n'y a pas diffusion, la polarisation est proportionnelle à la quantité d'électricité qui a passé par l'électrode et la capacité de polarisation est constante. Le maximum de polarisation se produit alors un quart de période après celui du courant. Mais dans la réalité ces conditions ne sont jamais remplies ; le maximum de polarisation se produit moins d'un quart de période après celui du courant et la capacité de polarisation décroît quand la période du courant augmente.

L'avance de phase de la polarisation peut atteindre d'après les mesures de M. Wien jusqu'à 31°.

Ces phénomènes s'expliquent par les causes qui entraînent les produits de l'électrolyse loin des électrodes, en particulier par la diffusion.

Soit une électrode de platine, plongée dans de l'acide sulfurique étendu, au dessus duquel se trouve une atmosphère d'hydrogène : le platine et l'électrolyte sont saturés d'hydrogène, par conséquent en équilibre entre eux et avec l'hydrogène. En admettant que tout l'oxygène dégagé à l'anode soit employé à l'oxydation de l'hydrogène, l'action du courant alternatif sur la surface du platine consiste à lui amener et à lui enlever alternativement de l'hydrogène. Si l'hydrogène produit se diffusait en entier dans le platine et l'électrolyte, on aurait un cas extrême, opposé au premier dans lequel il n'y a pas diffusion.

On peut appliquer la loi de Fick à la diffusion de l'hydrogène dans le platine et dans l'électrolyte et regarder la différence de potentiel entre le platine et l'électrolyte comme une fonction de la concentration de l'hydrogène sur la surface de séparation.

Suivant qu'on suppose la diffusion infiniment petite ou infiniment grande, on trouve, d'accord avec l'expérience que, dans le premier cas, la

capacité de polarisation est indépendante de la période ; dans le second cas, qu'elle est proportionnelle à cette période.

Dans le premier cas, le maximum de polarisation est décalé de 1/4 de période par rapport au maximum de l'intensité du courant : dans le second, il est décalé de 1/8 de période.

La densité superficielle Γ de l'hydrogène sur la surface de séparation est considérée comme une fonction de la concentration γ du gaz dans l'électrolyte ; mais on ne peut rien dire sur la grandeur $\frac{d\Gamma}{d\gamma}$ qui joue un rôle important dans le calcul.

Dans d'autres conditions, on peut déduire de considérations thermodynamiques quelques propriétés de ce coefficient. On sait qu'en ajoutant à l'eau ou à des dissolutions salines du sulfate mercureux, on diminue leur tension capillaire au contact du mercure : d'après la thermodynamique, il s'ensuit que la concentration du sulfate mercureux doit être plus grande à la surface que dans l'intérieur de la masse. Cette concentration superficielle croît d'abord avec la concentration moyenne, atteint un maximum pour une valeur encore très petite de cette dernière et décroît ensuite.

Il est vraisemblable que pour l'hydrogène on arriverait à des résultats analogues.

D'après les expériences de M. Schönherr, le platine poli non polarisé se trouverait à peu près dans le premier cas limite et le platine polarisé, dans le deuxième cas limite. Si on admet que les coefficients de diffusion dans le platine et dans l'hydrogène sont indépendants de la concentration, cette différence ne peut provenir que d'une différence dans la valeur de $\frac{d\Gamma}{d\gamma}$: Γ serait éloigné de son maximum quand le platine n'est pas polarisé et la concentration de l'hydrogène petite : il serait au contraire voisin du maximum, quand le platine est polarisé et la concentration de l'hydrogène grande.

Quant à la grande capacité de polarisation du noir de platine, M. Warburg l'explique de la manière suivante. La surface du platine sur lequel est déposé le noir peut être regardée comme recouverte de filaments de platine disposés perpendiculairement à la surface.

Le courant pénètre à peine dans les interstices de ces filaments, mais s'arrête à leur surface extérieure, qu'il charge d'hydrogène : mais cet hydrogène est entraîné bientôt dans les couches sous-jacentes par les courants locaux qui s'établissent entre ces couches non chargées et les couches superficielles chargées d'hydrogène. Ce phénomène a les mêmes conséquences qu'une augmentation notable de la vitesse de diffusion : par suite la capacité de polarisation doit être augmentée et devenir fonction de la fréquence : c'est en effet ce que M. Wien a observé.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 5 Février 1902

Après communication par le président, M. Hillairet, et le secrétaire général, M. Grosselin, de diverses lettres et brochures reçues depuis la dernière séance et dont plusieurs se rapportent à la question de la régularité des machines motrices, M. Dethoyat fait la description, avec projections, des installations électriques du *Chemin de fer Métropolitain* et donne quelques chiffres relatifs à la consommation de charbon à l'usine (1,8 kg par kilowatt-heure de courant continu au tableau) et à la consommation d'énergie électrique des voitures (49 watts-heure par tonne kilométrique). Nous ne faisons que signaler cette intéressante communication, un article devant prochainement être publié sur le Métropolitain.

L'ordre du jour appelle ensuite la

Discussion sur la télégraphie sans fil, par **G. Claude**.

Cette discussion porte sur le point suivant : n'est-il pas possible d'expliquer les faits constatés dans l'étude expérimentale de la télégraphie sans fil par des effets de capacité sans avoir à faire intervenir les théories compliquées de Marconi, Slaby et autres ?

M. Claude le croit. Ayant eu l'occasion de reconnaître, dans des recherches sur les courants de haute fréquence, faites en collaboration avec M. Bombes de Villiers [1], que les phénomènes observés avec ces courants, si extraordinaires qu'ils puissent paraître de prime abord, s'expliquent toujours très aisément par les théories ordinaires lorsqu'on fait intervenir la capacité, il s'est demandé si la capacité n'intervenait pas aussi comme facteur prépondérant dans les phénomènes de la télégraphie sans fil ; reprenant les divers faits d'observation relatés par M. le capitaine Ferrié dans sa précédente communication [2] il a constaté qu'aucun n'est en contradiction absolue avec cette manière de voir et que celle-ci les explique au moins aussi aisément que les théories spéciales.

L'antenne transmettrice présente en effet par rapport à la terre une capacité relativement considérable C et par rapport à l'antenne réceptrice une capacité *c*, bien faible, il est vrai, en comparaison de la précédente, mais cependant suffisante grâce à l'extrême sensibilité des cohéreurs actuels. Le mécanisme de la transmission serait alors le suivant : pendant l'augmentation de la différence de potentiel aux bornes de la bobine, augmentation relativement lente, le con-

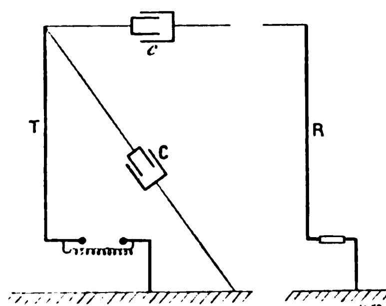


Fig. 1.

densateur C (fig. 1) ainsi que le condensateur *c* — car la résistance du cohéreur même non excité n'est pas infinie — se chargent, grâce à la conductibilité de la terre ; cette charge, d'ailleurs, se fait sans oscillations, le circuit de charge comprenant la grande résistance du circuit de haute tension de la bobine. A un moment donné, la différence de potentiel entre les boules de l'excitateur atteint la tension disruptive et une étincelle éclate entre elles. Cette étincelle, chaude et conductrice, se substitue brusquement au circuit à fil fin de la bobine et fournit alors un circuit de résistance ohmique très faible comprenant, outre la terre et l'antenne, tout le champ électrique de cette dernière. Dans ce circuit peuvent alors prendre naissance des oscillations extrêmement rapides dues à l'action combinée de la self-induction du fil de l'antenne et de la capacité. Une fraction du courant oscillatoire ainsi déterminé est afférente au petit condensateur *c*, et c'est cette minime fraction, seule partie utile de toute l'énergie dépensée, qui produit les phénomènes de cohérence utilisés pour la transmission des signaux.

M. Claude reconnaît qu'on a objecté à cette interprétation, déjà proposée antérieurement, que l'énergie des actions devrait alors varier en raison inverse du cube de la distance et par conséquent devrait cesser d'être perceptible à très courte distance. Mais le raisonnement qui a conduit à cette conclusion ne lui paraît pas rigoureux, « car, dit-il, étant donné que l'énergie rayonnée par l'antenne, intégralement transmise par l'éther sous forme de courants de capacité, ne fait que s'étaler à la surface du sol, ce ne serait que la loi de l'inverse du carré de la distance qu'il y aurait lieu d'admettre, ce qui semble très possible ».

L'objection étant, sinon complètement levée, du moins réduite d'importance, M. Claude développe les considérations qui l'ont conduit à expliquer par cette interprétation les faits fondamentaux de la télégraphie sans fil.

Influence de la hauteur d'antennes. — Le plus important est l'accroissement de la portée avec la hauteur des antennes. Si donc, quand on augmente la hauteur d'antennes, on augmente aussi la capacité relative des deux antennes et par suite l'intensité des courants oscillatoires développées dans l'antenne réceptrice, ce fait expérimental se trouvera expliqué. Or, à première vue, l'augmentation de capacité résultant d'un accroissement de hauteur paraît bien faible si l'on s'en rapporte aux formules ordinaires de l'électrostatique qui ne font intervenir dans l'expression de la capacité que la surface en regard des électrodes et leur distance. Aussi M. Claude fait-il intervenir en outre la *forme* du champ entre les deux armatures. « On peut admettre, dit-il, que si une antenne de faible hauteur cor-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXVII, p. 340, 1er juin 1901.
(2) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 103, 18 janvier 1902.

respond à un champ électrique comme celui de la figure 2, une antenne beaucoup plus élevée donnera un champ semblable à celui de la figure 3, qui *portera* beaucoup plus loin, pour la même raison que l'horizon recule quand on s'élève dans un clocher. Mais, à hauteur égale,

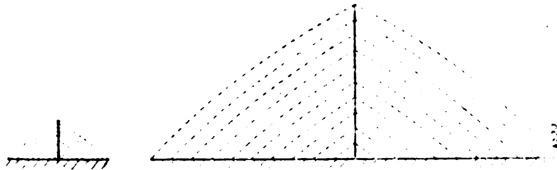


Fig. 2 et 3.

l'horizon *électrique* est infiniment plus lointain que l'horizon visuel par suite de la courbure que peuvent affecter les lignes de force électriques. La capacité entre les deux électrodes n'apparaît donc, ou du moins ne commencerait à devenir appréciable que pour une certaine hauteur minimum de l'antenne transmettrice ».

Il est vrai que d'après cette explication la portée semblerait devoir être proportionnelle à la hauteur des antennes, tandis que l'expérience apprend qu'elle est approximativement proportionnelle au carré de cette hauteur. Est-ce une raison pour rejeter l'explication ? M. Claude ne le pense pas, car il estime que la démonstration de cette loi expérimentale n'a jamais été des plus rigoureuses et qu'on a dû très probablement opérer avec des cohéreurs de sensibilités différentes, l'emploi d'un cohéreur d'autant plus sensible que la distance à franchir est plus grande étant naturel. D'ailleurs, ajoute-t-il, si la considération de la capacité n'explique pas cette loi, les autres théories proposées ne l'expliquent pas mieux.

A propos de l'influence de la hauteur d'antennes, M. Ferrié faisait observer (p. 104) que la longueur des étincelles à l'oscillateur diminue très rapidement quand cette hauteur croît, et ajoutait que cette diminution ne semblait pas pouvoir être attribuée à une augmentation de la capacité de l'antenne par rapport à la terre. M. Claude n'est pas de cet avis : il pense que cette capacité croît à peu près proportionnellement à la hauteur d'antenne. Cette affirmation est d'ailleurs appuyée sur le raisonnement suivant : Prenons un élément dl de l'antenne, distant du sol de l; les lignes de force issues des extrémités de cet élément (fig. 2 et 3) découperont sur le sol une surface annulaire de largeur dx ; à un élément kdl situé à une hauteur kl correspondra un anneau de largeur kdx ; les dimensions linéaires du condensateur formé par un élément et l'anneau découpé sur le sol sont donc dans le rapport k ; les capacités seraient par conséquent dans le rapport k^2 si la distance des armatures n'avait pas varié ; en admettant qu'elles ne sont que dans le rapport k il semble que l'on puisse ainsi tenir compte de cette dernière variation ; mais alors la capacité par unité de longueur reste constante, et l'on arrive à cette conclusion que la capacité de l'antenne croît proportionnellement à la hauteur de celle-ci. Dès lors s'expliquerait l'augmentation du débit de la bobine.

L'accroissement de la portée avec l'accroissement de la hauteur d'antennes s'expliquerait du même coup car l'augmentation de capacité totale de l'antenne transmettrice porte surtout, à mesure que la hauteur augmente, sur la capacité utile c puisque c'est seulement le sommet de l'antenne qui rayonne à de grandes distances.

Une autre remarque signalée par M. Ferrié est que la portée est plus grande quand l'antenne est reliée au pôle négatif. de la bobine que quand elle est reliée au pôle positif. M. Claude en donne l'explication suivante : De ce que les oscillations sont très rapidement amorties d'après les essais du lieutenant Tissot, il faut en conclure que c'est — du moins toutes les fois que la syntonie n'intervient pas — le premier maximum qui agit sur le cohéreur. Or, suivant la polarité de l'antenne transmettrice le courant développé dans l'antenne réceptrice par la décharge aura, dans les premiers moments de sa production, un certain sens ou le sens opposé. Si ce sens est, pour le cohéreur, le même que celui du courant que tend à y produire la pile montée en dérivation, il est évident que le courant provoquera bien plus facilement le phénomène de cohérence qu'un courant de sens opposé. L'influence de la polarité de l'antenne transmettrice se trouve donc expliquée, mais le sens de cette influence dépendrait alors du mode de couplage de la pile du circuit du cohéreur.

Un autre point examiné par M. Claude est la répartition des potentiels le long de l'antenne. D'après la théorie développée par M. Ferrié et d'après l'expérience, le sommet d'une antenne reliée au sol est un ventre de force électromotrice. Or l'on sait aussi que dans les dispo-

sitifs employés pour la production des courants de haute fréquence le potentiel croît d'une extrémité à l'autre du solénoïde disposé sur le circuit de condensateur shunté sur l'exploseur, l'extrémité la plus éloignée de l'exploseur étant au plus haut potentiel. C'est d'ailleurs ce que M. Claude montre expérimentalement au moyen d'un appareil producteur de courants de haute fréquence de la maison Gaiffe. L'existence d'un ventre de force électromotrice au sommet d'une antenne se trouve donc expliquée tout aussi bien dans l'interprétation de M. Claude que lorsqu'on fait intervenir la considération des ondes.

Il y a toutefois une différence importante dans les conclusions : si l'on adopte les théories basées sur la considération des ondes, la longueur de l'antenne doit être le quart de longueur d'onde des oscillations émises ; si l'on considère le phénomène comme dû au mécanisme ordinaire de la charge oscillante, il n'y a plus de relation entre ces deux longueurs.

Rôle de la terre. — Dans l'interprétation admise par M. Claude, la terre joue un rôle prépondérant, puisqu'elle est supposée constituer une armature *conductrice* de l'immense condensateur dont l'antenne transmettrice est l'autre armature. Mais la terre est-elle en réalité conductrice pour les courants de très haute fréquence mis en jeu par la télégraphie sans fil ?

Pour le savoir, M. Claude a recours à l'expérience. En série avec la self-induction de l'appareil à haute fréquence, sont montés un ampèremètre thermique et un tube de verre contenant de la terre humide ; si l'on ferme le circuit par un fil de cuivre relié à l'extrémité libre de la self-induction, l'ampèremètre indique le passage d'un courant appréciable. En remplaçant la terre humide par une solution aqueuse de chlorure de sodium à 5 p. 100, l'intensité du courant est de beaucoup accrue.

La terre humide et surtout la mer sont donc de bons conducteurs pour les courants de haute fréquence. Rien d'extraordinaire, dès lors, que la portée de la télégraphie sans fil soit plus considérable sur mer que sur terre.

Mais une objection se présente néanmoins. M. Ferrié a cité des essais ayant réussi, bien que les antennes fussent isolés du sol. M. Claude fait observer que, si, dans l'un de ces essais, l'antenne transmettrice n'était pas reliée au sol, elle était reliée à une large feuille de clinquant ; or, celle-ci présente, par rapport à la terre, une capacité très grande devant celle de l'antenne ; la résistance apparente $\frac{1}{\omega C}$ est par suite relativement faible, grâce à l'énorme fréquence ; c'est donc comme si il y avait eu liaison assez bonne avec le sol. — D'autres essais ont été faits avec une antenne réceptrice parfaitement isolée. Dans ce cas, le circuit du relais du cohéreur joue le rôle de la plaque de clinquant : sa capacité par rapport au sol est, il est vrai, incomparablement plus faible que la capacité de la plaque ; mais, si faible qu'elle soit, elle peut être suffisante, et M. Claude montre, par une expérience, que la capacité d'un bout de fil peut être capable de donner lieu à des courants quand on approche ce fil d'un solénoïde à haute fréquence. — Restent encore les essais exécutés en ballons libres, que l'on pourrait opposer à sa manière de voir. M. Claude estime que, dans ce cas encore, la capacité de l'antenne réceptrice par rapport au sol se comporte également comme un court-circuit, eu égard à la minuscule capacité relative des deux antennes.

Influence de la forme des antennes. — Des essais faits sur terre avec des conducteurs de diverses grosseurs ont montré que la valeur du diamètre a une influence presque nulle sur la portée ; des essais faits par M. Marconi en mer avec des tuyaux de diamètres considérables ont, au contraire, montré que la portée serait de beaucoup augmentée à égalité de hauteurs d'antennes.

Ce dernier résultat est conforme au mécanisme admis par M. Claude, puisque la capacité de l'antenne augmente avec sa surface. Le premier, bien qu'opposé en apparence, s'explique simplement : quand on opère sur terre, la résistance ohmique du circuit où circulent les courants est presque entièrement localisée dans le sol dont la conductibilité pour ces courants est faible relativement à celle de l'eau de mer, et dès lors l'amélioration dans la transmission qui doit résulter d'une augmentation du diamètre de l'antenne n'est pas appréciable.

M. Claude fait encore remarquer que, lorsqu'on augmente le diamètre de l'antenne, on diminue l'amortissement des courants de haute fréquence qui y circulent, puisque ceux-ci se concentrent, comme on sait, dans les couches superficielles des conducteurs. Or, si l'on

diminue l'amortissement, c'est une circonstance heureuse pour la réalisation de la syntonie, ce qui fournit une nouvelle explication des bons résultats obtenus par M. Marconi dans ses essais avec des antennes tubulaires. L'amortissement devant se trouver encore diminuer si, au lieu de relier ces antennes à la mer par de simples fils, comme le faisait M. Marconi, on fait plonger les tubes eux-mêmes jusque dans l'eau, M. Claude propose de faire un essai dans ces conditions.

Fonctionnement des cohéreurs. — En terminant, M. Claude répète une expérience confirmant l'hypothèse que dans le fonctionnement du cohéreur il y a soudure, plus ou moins précaire, des particules métalliques. Il prend un fil de fer courbé en cercle d'environ 10 cm de diamètre et l'approche du solénoïde à haute fréquence ; un flux d'étincelles jaillit à la coupure et les deux extrémités du fil se soudent; la soudure est d'ailleurs très fragile.

M. Ferrié reconnaît que l'essai de théorie basée sur la capacité des antennes et la conductibilité du sol, que vient d'exposer M. Claude, est des plus intéressants et qu'il donne l'explication de bien des faits que n'avaient pas tenté d'expliquer les auteurs qui ont antérieurement proposé des théories basées sur les mêmes principes; il ne pense pas cependant que cette théorie puisse être acceptée.

Outre l'objection signalée dès le début de sa communication par M. Claude et relative à la diminution de l'énergie proportionnellement au cube de la distance, on peut encore présenter les suivantes :

Dans divers essais exécutés en mer, par exemple dans les essais faits entre Biot et Calvi, la droite joignant les sommets des antennes transmettrice et réceptrice passait à plus de 500 m au-dessous du niveau de la mer. Quelle pourrait être dans ces conditions, l'eau de mer étant conductrice, la capacité relative des deux antennes ?

Dans les essais faits en ballon libre, où l'on a atteint des altitudes de 1 000 m au-dessus du sol, la capacité de l'antenne réceptrice par rapport au sol paraît bien faible pour pouvoir être prise en considération.

Dans les essais exécutés avec une antenne transmettrice reliée à une feuille de clinquant, celle-ci était disposée verticalement, et n'avait, par suite, qu'une bien faible capacité par rapport au sol.

Si la conductibilité de la terre entrait en jeu, on devrait pouvoir, au moyen de prises de terre, déceler l'existence de nœuds et de ventres dans le sol ; or des essais de ce genre n'ont rien montré de semblable.

Des essais faits par M. le lieutenant Tissot ont montré que la capacité d'une antenne n'augmente pas de façon appréciable quand on augmente sa surface.

Quant à la relation admise entre la longueur de l'antenne et la longueur d'onde, elle ne peut être infirmée par la remarque de M. Claude que dans un appareil protecteur de courants de haute fréquence, la longueur du solénoïde, auquel il assimile l'antenne, est considérablement inférieure au quart de la longueur d'onde des oscillations ; c'est qu'en effet dans un tel solénoïde, il y a, par suite du rapprochement des spires, de la capacité répartie qui modifie complètement le fonctionnement.

La suite de la discussion sur la télégraphie sans fil est renvoyée à la prochaine séance et le président ouvre la

Discussion sur les canalisations électriques, à laquelle prennent part MM. **Grosselin**, **Gay** et **Brylinski**.

Cette discussion porte sur les conclusions du rapport de M. Sartiaux, président de la 4e section du Comité chargée de l'étude des canalisations ; ce rapport a été publié dans le dernier numéro de ce journal [1].

M. Grosselin, qui prend le premier la parole, fait ressortir les inconvénients résultant de l'insertion, dans le cahier des charges de fournitures de câbles, de conditions exagérées relativement à l'isolement et à la résistance à la rupture diélectrique. D'une part il en résulte une élévation considérable du prix de revient ; d'autre part, il n'est pas toujours possible d'avoir à la fois une très grande résistance d'isolement et une très grande résistance à la rupture, ces deux conditions n'étant pas remplies en même temps par la plupart des matières isolantes utilisées pour la fabrication du câble.

A propos de cette fabrication, il décrit rapidement celle des câbles à isolement de cellu-

[1] *Supplément* du 1er février, p. LXI à LXIII.

lose, fort employés aujourd'hui. Cette fabrication comprend les opérations suivantes : recouvrement de l'âme par du papier ; dessiccation de celui-ci par chauffage dans des étuves où l'on fait le vide ; imprégnation de la couche de cellulose par un mélange d'hydrocarbures généralement formé d'une huile (qui abaisse la résistance d'isolement, mais augmente la résistance à la rupture) et d'une résine (qui produit des effets inverses) ; recouvrement d'une double enveloppe de plomb ; enfin recouvrement par une couche de jute. L'imprégnation par le mélange d'hydrocarbures est indispensable pour avoir une résistance à la rupture suffisante, mais elle abaisse plutôt la résistance d'isolement qui est très élevée quand les pores de la cellulose sont remplis d'air sec, comme le montre l'emploi presque exclusif aujourd'hui de câbles de ce genre pour la téléphonie. On éprouve dans cette fabrication les difficultés signalées plus haut d'avoir à la fois un bon isolement et une grande rigidité diélectrique.

Passant aux essais, M. Grosselin fait observer que les essais d'isolement à basse tension ne donnent aucune garantie sérieuse sur la façon dont se comportera le câble lorsqu'il sera mis en service sous haute tension ; ces essais ne peuvent en effet faire reconnaître la présence de fissures légères dans le diélectrique. Toutefois, comme ils permettent de s'apercevoir facilement de la présence de défauts graves résultant de la fabrication ou provenant de la pose, M. Grosselin est d'avis qu'il convient de les imposer dans les cahiers des charges.

Mais quelle est la valeur de l'isolement qu'il convient de demander? Si l'on considère les essais d'isolement faits après pose, la réponse est délicate. La résistance d'isolement d'un même câble pourra être très différente, suivant qu'il est utilisé comme feeder ou comme câble de distribution ; dans ce dernier cas, les boîtes de distribution créent des points faibles d'isolement qui n'existent pas dans le cas des feeders. Pour cette raison, M. Grosselin estime qu'il devrait être spécifié que les conditions imposées pour la résistance d'isolement après pose ne s'appliquent qu'aux feeders. Comme d'ailleurs cette résistance d'isolement ne constitue qu'une indication secondaire, il propose de fixer cette résistance d'isolement à 1 000 mégohms par km pour les tensions inférieures à 1 000 volts et à 2000 mégohms pour les tensions supérieures. Pour les câbles de distribution, ces chiffres devraient être abaissés à 500 et 1 000 mégohms par kilomètre.

Pour les essais de rupture diélectrique, il est d'avis que les conditions indiquées dans le rapport de M. Sartiaux conviennent fort bien : essais à l'usine sous une tension double de la tension de service, essais après pose sous cette dernière tension, majorée, s'il est possible, de 25 p. 100. Il ne se dissimule pas cependant que si ces conditions offrent toute garantie pour les câbles à courant continu, elles n'en offrent guère pour les câbles à courants alternatifs, la tension dans ces câbles pouvant parfois prendre, par suite des effets de résonance, des valeurs exagérées, 260 000 volts suivant M. Kennedy. Comme pour de telles tensions toute précaution préventive serait illusoire, il faut en prendre son parti et considérer la rupture de l'isolement par résonance comme un accident d'exploitation dont ne saurait être responsable le constructeur du câble.

Quant à la capacité et l'impédance du câble, ce sont des quantités dont les valeurs seraient bien difficiles à imposer *a priori* au constructeur. Tout au plus, pourrait-on désirer que celui-ci communique leurs valeurs, trouvées après construction, au constructeur de l'alternateur, afin que ce dernier essaie d'éliminer les harmoniques dangereuses dans les ondes de force électromotrice.

M. Gay commence aussi par faire observer qu'une grande résistance d'isolement n'implique pas nécessairement d'excellentes conditions de fonctionnement. Malgré une haute résistance d'isolement, un câble peut avoir une faible résistance à la rupture diélectrique : témoins les câbles à isolement d'air, comme l'a déjà fait remarquer M. Grosselin. D'autre part, il peut ne pas remplir les conditions de durée qu'on est en droit d'attendre ; tels sont les câbles à isolement par la gutta : si la gutta employée présente un trop grand isolement, elle se détériore rapidement, à tel point que l'Administration des Télégraphes a cru devoir imposer, non seulement une résistance d'isolement *minimum* assurant le bon fonctionnement du câble, mais encore une résistance d'isolement *maximum* pour avoir quelque garantie empirique sur la durée.

Néanmoins, M. Gay est d'avis, comme le

précédent orateur, qu'il convient de maintenir les essais d'isolement à l'usine, afin de reconnaître l'existence d'un défaut de fabrication; mais il estime que la valeur exigée de la résistance kilométrique peut être de beaucoup inférieure à celles indiquées dans le rapport, et propose de la fixer à 500 mégohms, quelle que soit la tension. Pour les essais après pose, il croit qu'il est préférable de ne rien fixer, la résistance d'isolement dépendant surtout alors du degré d'humidité de l'atmosphère entourant les extrémités du câble.

Il se rallie aux propositions du rapport pour les essais de résistance à la rupture.

Dans sa communication, M. Brylinski envisage successivement les câbles et les canalisations aériennes.

1° La division des câbles en câbles de basse tension (jusqu'à 1 000 volts), de moyenne tension (jusqu'à 4 000 volts), de haute tension (au-dessus de 4 000 volts), ne lui paraît pas répondre aux conditions industrielles actuelles : par suite de la résonance, une canalisation à 2 000 volts est tout aussi exposée à une rupture du diélectrique qu'une canalisation à 10 000 volts. Il est donc inutile de créer une classe de câbles de moyenne tension, et, en vue d'une réglementation, il suffirait de faire deux classes : l'une comprenant les câbles pour tensions au-dessous de 1 000 volts; l'autre ceux devant fonctionner sous une tension supérieure à 1 000 volts. Comme l'emploi des très hautes tensions (jusqu'à 60 000 volts) tend à s'introduire, il serait peut-être utile pour l'avenir d'établir trois classes, la dernière comprenant les câbles destinés à supporter des tensions de plus de 25 000 volts.

M. Brylinski pense que, bien que les essais d'isolement ne renseignent nullement sur la résistance à la rupture diélectrique, il convient non seulement de faire ces essais, mais encore de les faire avec le plus grand soin, à l'usine et après pose, dans des conditions bien déterminées pour la durée de la charge et la température. Des essais fréquents, faits avec précision, renseigneraient sur l'état du câble et permettraient souvent de reconnaître un défaut bien longtemps avant qu'il ne puisse avoir des conséquences dangereuses. C'est la méthode employée sur les réseaux de câbles télégraphiques et elle a toujours donné d'excellents résultats.

Pour les essais de rupture diélectrique, il ne fait aucune objection aux propositions contenues dans le rapport.

2° Dans la seconde partie de sa communication, M. Brylinski appelle l'attention sur une conclusion du mémoire de M. Loppé sur les canalisations aériennes. M. Loppé préconise l'utilisation de très longues portées des fils. M. Brylinski fait observer que l'application de cette règle peut conduire à des mécomptes, par suite des effets du vent.

Outre la possibilité du renversement des supports sous l'effort dû à l'action directe du vent sur ceux-ci, il y a lieu, en effet, de tenir compte de l'action exercée sur les fils de la portée. Cette action se traduit par une augmentation de la tension et par un déplacement de chaque fil qui cesse d'être dans un plan vertical. L'augmentation de la tension peut provoquer la rupture du fil; le déplacement de celui-ci amène dans un plan incliné sur la verticale l'effort qu'exerce le fil sur le poteau et donne lieu, par suite, à une composante horizontale qui tend à renverser le poteau.

M. Brylinski fait le calcul de la force de renversement résultant cette cause. Pour cela il doit faire plusieurs hypothèses dont la plus importante concerne la valeur maximum de la vitesse du vent dans nos régions. L'Administration des Postes et Télégraphes impose pour les calculs de ce genre une vitesse correspondant à une pression de 280 kg : m². Ce « vent administratif », comme l'appelle M. Brylinski, n'ayant jamais été observé dans nos régions (pendant la tempête du samedi 1er février, la pression du vent n'a été que de 75 kg : m²), M. Brylinski adopte une pression de 170 kg : m².

En appliquant ce calcul à une ligne formée de 12 conducteurs téléphoniques en bronze siliceux, M. Brylinski trouve que la portée qu'il conviendrait de ne pas dépasser est seulement de 25 m; en adoptant le « vent administratif », la portée serait réduite à 12 m.

A la suite de cette communication M. Gay dit que comme M. Brylinski il ne méconnait pas l'importance des renseignements que peuvent donner des essais d'isolement faits régulièrement et avec précision. Mais si des essais de ce genre peuvent être exécutés sur des câbles télégraphiques sous-marins, ils sont très difficiles à effectuer sur les câbles d'un réseau de distribu-

tion ; d'ailleurs dans ce dernier cas une des conditions indispensables à la précision des mesures fait défaut : on ne peut en effet connaître avec quelque approximation la température des câbles d'un réseau souterrain.

Par suite de l'heure avancée la suite de la discussion est renvoyée à la prochaine séance. J. B.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS (1)

Séance du 22 novembre 1901.

Distribution de l'énergie électrique dans les grandes villes, par **Louis-A. Ferguson**. *Transactions*, t. XVIII, p. 791-807, nov. 1901.

Dans l'établissement des grandes distributions d'énergie électrique il y a tendance marquée, depuis quelques années, à ne pas se préoccuper seulement de satisfaire aux conditions du moment, mais surtout à envisager le développement futur des grands centres. Il en résulte que beaucoup de Compagnies abandonnent l'ancien système de stations génératrices à vapeur disséminées à l'intérieur des villes et alimentant les quartiers avoisinants, pour en transformer une partie en sous-stations et centraliser la production de l'énergie électrique en une ou deux grandes stations, situées de préférence au voisinage de cours d'eau et de lignes de chemins de fer.

En Europe, comme en Amérique, il y a plusieurs exemples de grandes stations prévues pour fournir des puissances de 50 000 à 100 000 chevaux et certaines Compagnies ont conservé les anciennes stations, comme secours au moment des plus fortes consommations de l'hiver. Bien que le prix de revient du kilowatt-heure y soit plus élevé que pour les stations centrales nouvelles, l'énergie qu'elles ont à fournir est assez faible pour que leur emploi soit encore économique vis-à-vis de l'intérêt et de l'amortissement d'un matériel nouveau qui ne servirait que quelques heures par jour de deux ou trois mois d'hiver.

A conditions égales pour l'eau et le charbon, il y a lieu de choisir, pour l'emplacement de la station principale, celui pour lequel le prix du terrain constitue une part plus forte du coût total que le coût de la transmission de l'énergie aux sous-stations. On est ainsi conduit à rapprocher la station des grands centres de consommation. D'autre part, l'adoption des courants alternatifs à haute tension sera imposée par l'étendue du territoire à desservir dans les grandes villes. Il sera dès lors avantageux d'employer des génératrices à deux courants, afin de distribuer directement la lumière et la force motrice, surtout si l'énergie à produire pour la traction est relativement faible. En tous cas, dans toute nouvelle station principale, les génératrices devront être de même fréquence, même celles à deux courants, si l'on veut arriver à l'économie, à la souplesse et au minimum de frais de premier établissement d'une installation.

Quant au choix de la nature du courant à produire, l'expérience a montré que la distribution par courant continu convenait de préférence aux quartiers d'affaires et de résidence, et le courant alternatif aux quartiers encore en voie de développement et aux territoires suburbains.

Ces principes ont été suivis pour la distribution de la lumière et de la force motrice, la traction exceptée, à Chicago, et l'analyse n'en est pas sans intérêt. La figure 1 montre que sur 22 500 kilowatts produits, 23,4 p. 100 le sont par du courant alternatif à 60 périodes, pour une superficie de 150 km² et 79,5 p. 100 par distribution directe, pour 26 km² seulement (1). Mais tous les nouveaux développements dans les

(1) Dans ses premières séances de la session 1901-1902, l'Institut américain des Ingénieurs électriciens a discuté deux questions d'actualité et de très grande importance pratique : l'accouplement en parallèle des alternateurs et la distribution de l'énergie dans les villes. La première de ces questions a été examinée dans la séance du 25 octobre, la seconde dans celle du 22 novembre. Nous donnons aujourd'hui l'analyse des communications faites dans cette dernière séance (à l'exception d'une, toutefois, que le défaut de place nous oblige à remettre à huitaine) ; dans le prochain numéro nous donnerons celle des communications qui ont eu lieu à la séance du 25 octobre ; en même temps nous publierons une analyse complète des travaux qui ont été présentés à la Société Internationale des Electriciens, de Paris, sur le même sujet. C'est ce rapprochement des travaux se rapportant à une même question qui motive l'abandon que nous faisons de l'ordre chronologique.

(1) La production indiquée sur la figure 1 comme distribution à basse tension de 25 périodes est fournie actuellement par des machines à courant continu et à deux courants, parce que la station principale n'est distante que de 965 m de la plus importante sous-station, mais la courbe montre la portion de la charge qui sera fournie par des alternateurs à 25 périodes et des sous-stations à transformateurs rotatifs quand ce nouveau système sera introduit. (N. d. l'A.)

districts Nord et Ouest entraîneront des sous-stations recevant le courant à 25 périodes d'une

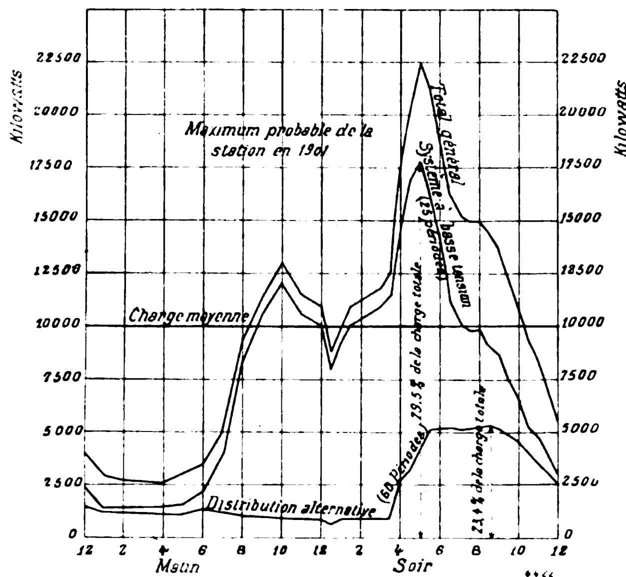


Fig. 1.

station principale et le transformant en courant à 60 périodes.

La figure 2 montre comment on a pourvu à la

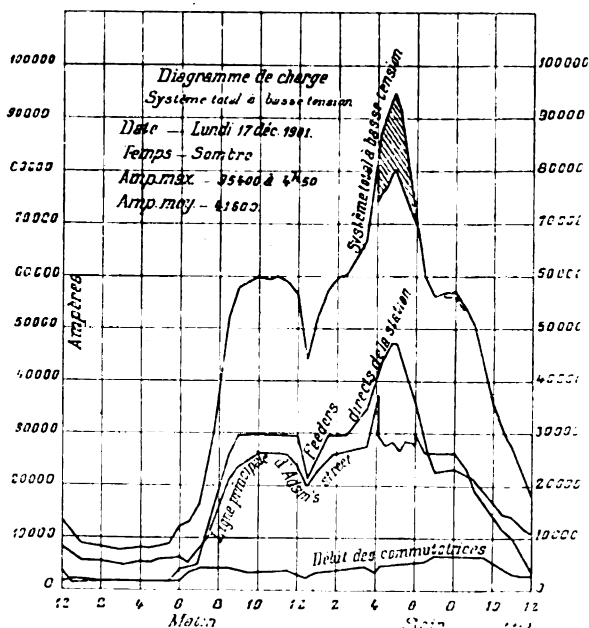


Fig. 2.

charge maximum de la distribution à basse tension, l'hiver dernier. La puissance relativement faible demandée aux transformateurs rotatifs sera probablement triplée cet hiver, et celle de la batterie de secours doublée; tandis que la puissance des génératrices à courant continu direct reste stationnaire en prévision de leur remplacement par des sous-stations à commutatrices et à accumulateurs.

Pour déterminer le futur système de distribution, il est nécessaire d'étudier les conditions présentes et les probabilités futures de la consommation. La figure 3 donne les consomma-

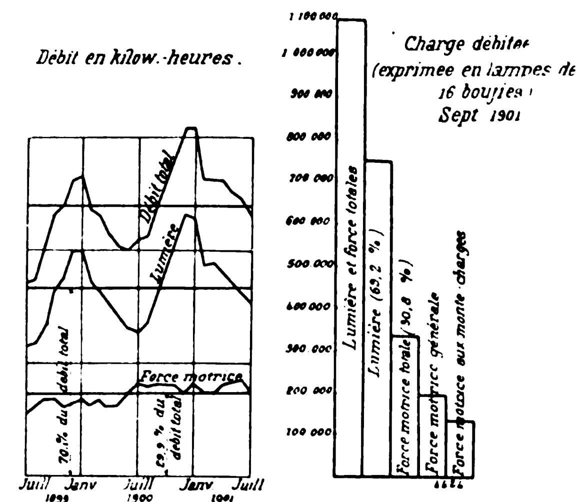


Fig. 3.

tions mensuelles fournies par les Compagnies de Chicago : la traction routière ou aérienne n'est pas comprise dans la courbe de force motrice, et cette étude n'est pas assez compréhensive pour les grands centres de l'avenir qui emprunteront certainement toute leur énergie à une ou plusieurs grandes stations. On y voit néanmoins l'importance de la puissance mécanique fournie qui atteint les 30 p. 100 du total et qui a l'avantage de présenter une consommation à peu près constante de huit heures du matin à six heures du soir. Aussi adoptera-t-on la distribution par courant continu à 3 fils dans les quartiers de résidence et d'affaires du « District Central »; le moteur à courant continu est meilleur marché [1] et s'adapte mieux que le moteur à courant alternatif à tous les usages; il est à peu près le seul pratique pour les ascenseurs à service très

[1] En Amérique, le prix de vente du moteur triphasé est encore loin aujourd'hui d'être raisonnable. (N. d. l'A.

chargé. Cette considération a son importance puisque, d'après la figure 3, les ascenseurs et monte-charges absorbent les 12,5 p. 100 de la consommation totale; et que l'économie que procure l'application de l'électricité aux monte-charges décidera souvent les propriétaires des grands établissements à demander à la station centrale la fourniture de la lumière et de toute leur force motrice.

Le développement de l'automobilisme nécessite l'installation de postes de charge qui ne sont pratiques qu'avec du courant continu.

Le courant alternatif exclut aussi l'emploi des batteries de secours qui, si elles n'augmentent pas l'économie de l'exploitation, rendent néanmoins de précieux services, au moment des surcharges dans les stations centrales ou dans les sous-stations à commutatrices, en cas d'accident sur la ligne primaire; elles peuvent servir de régulatrices entre deux sous-stations et pourvoir à la constance de la tension malgré les accidents imprévus (1).

La figure 4 représente deux extrêmes de la consommation journalière ainsi qu'une moyenne pour les deux tiers de l'année. Le rectangle hachuré figure la capacité des batteries pour une décharge d'une heure; et la portion hachurée de la courbe de débit maximum en montre l'application aux heures de la plus forte consommation.

La capacité des batteries de la Compagnie Edison, à Chicago, est répartie sur tout le réseau à basse tension, et comprend, outre les 66000 ampères-heures des 3 batteries d'Adams Street, 3 autres batteries plus petites dans les 3 sous-stations rotatives des quartiers de résidence; ces dernières batteries sont très propres à empêcher à certains moments une demande exagérée à la station génératrice.

La figure 5 indique l'utilité d'une batterie régulatrice destinée à conserver une charge constante aux génératrices et utilisée dans une sous-station de tramway (2).

Toutes ces considérations sur les avantages et le taux élevé (79,5) de la distribution directe ont

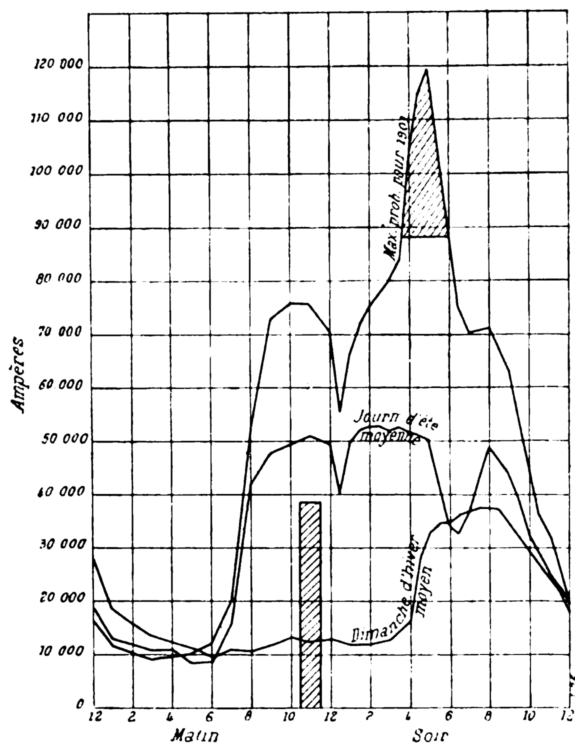


Fig. 4.

fait d'abord adopter, à Chicago, pour le transmettre aux sous-stations à commutatrices, un courant triphasé à 25 périodes fourni par des machines à deux courants à 160 volts, disposées

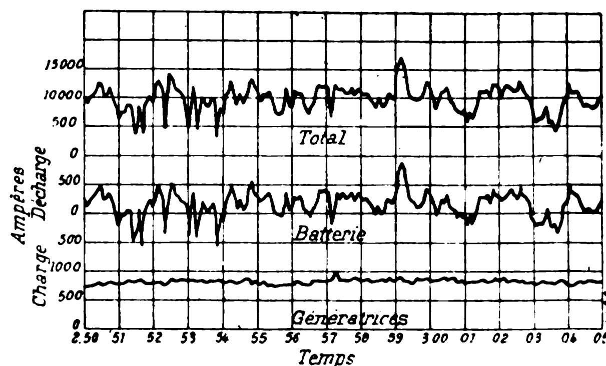


Fig. 5.

pour monter à 4500 et 9000 volts; ce système permet de faire fonctionner constamment des génératrices à pleine charge, en utilisant directement l'excès de production dans le réseau à basse tension.

(1) On méconnait trop souvent la propriété des accumulateurs de pouvoir compenser les inégalités de tension à l'extrémité des feeders au moment des charges maxima; il suffit de connecter un nombre variable d'éléments au départ de chaque feeder; l'augmentation de section des feeders nécessaire pour rendre les variations négligeables, conduirait à une dépense bien plus considérable. (N. d. l'A.)

(2) Voir aussi *L'Écl. Élect.*, t. XIII, p. 78, 9 oct. 1897.

La génératrice, la plus puissante de ce genre construite jusqu'à présent, vient d'être mise en marche; sa capacité nominale est de 2500 kilowatts avec une surcharge limite de 3 200 kilowatts, et elle donne un courant continu à 300 volts et un courant triphasé à 180 volts. Elle peut être mise en parallèle avec les autres machines, entre autres avec un alternateur triphasé de 9 000 volts (3 500 kilowatts). Mais il est probable que tous les nouveaux groupes seront constitués par des génératrices à 9 000 volts et 25 périodes et établis dans la station principale de Harrison Street qui alimente les Districts Central, Nord et Ouest.

Dans le district Sud, une station principale unique remplace six anciennes stations génératrices de diverses Compagnies. De même que dans les autres districts, on utilise le système triphasé à 4 conducteurs (dont un neutre), avec tension de 2 400 volts entre chaque conducteur et le neutre; on dispose ainsi de lignes monophasées à 2 400 et à 4 150 volts suivant les distances; mais la moitié de la puissance est transmise à la sous-station de Hyde Park (à 5,600) km, par lignes triphasées à 4 conducteurs.

Le système général des grandes stations à basse fréquence alimentant, avec de hautes tensions des sous-stations, est aussi appliqué, en Europe, notamment à Berlin et à Milan.

Localisation des défauts dans les canalisations souterraines, par **Henry-G. Stott,** *Transactions* t. XVIII, p. 809-813, nov. 1901.

Dans la recherche des défauts par la méthode de la boucle, les erreurs croissent en raison directe de la section des conducteurs; en outre, le galvanomètre est influencé par les courants de terre tels que ceux des tramways. On a essayé de remédier à cet inconvénient en employant des courants de mesure de 10 ampères et un millivoltmètre; mais l'expérience a montré qu'il fallait y renoncer dès que la résistance à évaluer est inférieure à 0,25 ohm, ce qui limite la recherche à des conducteurs de 3 mm environ, la distance entre les regards de la canalisation étant de 100 m à peu près.

Il reste : 1° la méthode des sectionnements, lente, onéreuse, et qu'on n'emploie que comme pis-aller; 2° la méthode qui consiste à envoyer dans le défaut des courants croissants et à reconnaître le tronçon défectueux d'après la fumée produite par l'inflammation de l'isolant, mais on risque de brûler les câbles voisins et de produire des explosions dans les caniveaux; 3° la méthode de la boussole.

C'est la plus expéditive et la plus économique. Elle consiste à envoyer dans le câble et à travers le défaut un courant d'une dizaine d'ampères dont on renverse la direction toutes les dix secondes. On présente une boussole de poche au regard situé au milieu de la ligne, si le défaut est plus loin de la station, l'aiguille de la boussole oscille de 180° toutes les 10 secondes; s'il est plus près, elle ne bouge pas. On localisera ainsi très rapidement le défaut entre deux regards [1].

Le courant qui convient le mieux pour cette mesure est celui d'une machine pour lampe à arc qui fournira un courant à peu près constant, malgré les variations du voltage. La méthode s'applique aux lignes à courant continu et alternatif sans arrêt du service; il suffira de protéger la source du courant de mesure par une bobine de self-induction.

Sur une ligne de 8 à 10 km, il ne faut pas, d'après l'auteur, plus de trois heures pour localiser un défaut.

Distribution à haute tension de Buffalo, par **Harold-W. Buck**. *Transactions*, t. XVIII, p. 813-821, nov. 1901.

L'objet de cette communication est la distribution de l'énergie électrique à partir de grands centres alimentés par des courants à haute tension venant de stations très éloignées, et où il n'est plus possible d'utiliser les lignes aériennes. La distribution établie à Buffalo en offre un exemple.

A la station d'arrivée de la ligne triphasée aérienne à 22 000 volts, composée de trois circuits, d'une puissance de 10 000 chevaux chacun, avec une perte en ligne de 7 p. 100, des transformateurs, de 3 000 chevaux chacun, transforment le courant à 22 000 volts en courant à 11 000 volts qui est envoyé dans des câbles souterrains.

Comme le montre la figure 1, les connexions sont disposées dans cette station, au moyen de commutateurs, pour opérer la distribution suivant deux circuits et pour relier chaque circuit

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 365, 9 mars et t. XXIX, p. 196, 9 novembre 1901. « Sur une méthode générale de recherche des défauts ».

à 22 000 ou à 10 000 volts à l'un ou l'autre système de barres des transformateurs.

Les lignes à 11 000 volts consistent en câbles à 3 conducteurs sous plomb, placés dans des conduits en poterie sous la chaussée ([1]). Les 5 feeders actuels sont munis d'interrupteurs de section qui permettent d'isoler un tronçon défectueux sans arrêter le service. Il y a en tout 7 sous-stations (fig. 2) alimentées par le courant triphasé à 11 000 volts ([2]).

En ce qui concerne l'adoption des tensions susdites, l'économie réalisée par la ligne aérienne à 22 000 volts compensait largement la dépense de la station transformatrice à 11 000 volts et justifie l'emploi de cette tension élevée; il n'eut pas été prudent de l'appliquer à un réseau souterrain. Si on a néanmoins adopté ailleurs des tensions mêmes supérieures à 22 000 volts pour des canalisations souterraines (S[t] Croix Power C[o]), il s'agit de lignes principales directes ne présentant pas les complications de connexions et de dérivations d'un réseau comme celui de Buffalo. L'expérience des quatre années d'existence de ce réseau a pleinement justifié l'adoption de la tension de 11 000 volts pour ce genre de distributions : en s'entourant de toutes les garanties dans le choix et le montage des câbles et dans l'isolation des extrémités, il n'y a pas de raison de s'en tenir plus longtemps à la tension de 6 600 volts qu'on a considérée jusqu'à présent comme la dernière limite admissible pour les canalisations souterraines.

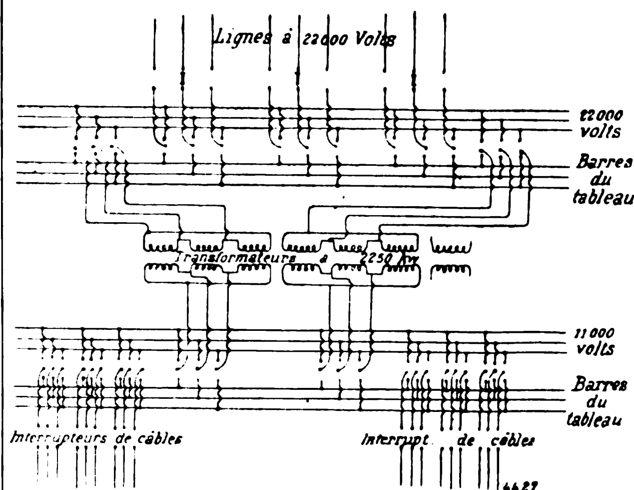


Fig. 1. — Connexions du tableau de la station de transformateurs de Buffalo.

Outre l'économie réalisée dans leur transmission, les tensions élevées, réduisant le débit, donnent lieu à des courts-circuits beaucoup moins désastreux.

La « Niagara Falls Power Company » qui transmet l'énergie depuis les chutes jusqu'à Buffalo est distincte de la « Cataract Power and Conduit Company » qui la distribue, à la tension de 11 000 volts, aux sous-stations de Compagnies

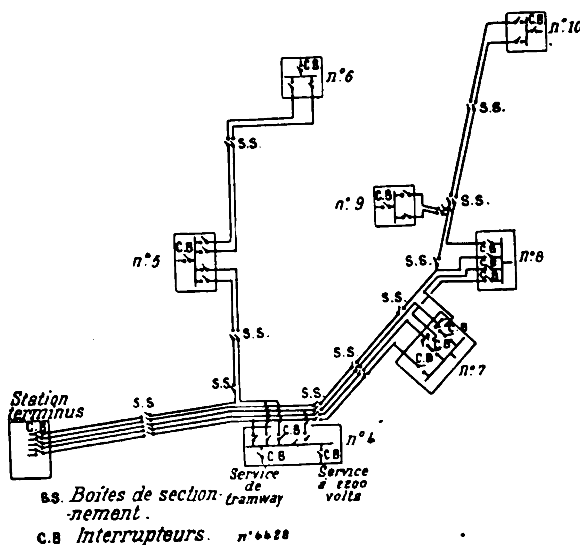


Fig. 2. — Réseau à 11 000 volts de Buffalo.

([1]) Les 5 feeders, à 11 000 volts, sont formés de 5 câbles à 3 conducteurs de 70 mm² avec enveloppe de plomb. Deux d'entre eux ont 7 mm de caoutchouc, deux autres en ont 6,3 mm, le dernier a 5 mm de papier, le tout recouvert de 3,17 mm de papier. L'épaisseur du plomb est de 3,17 mm.

([2]) Station n° 4. — 2 000 chevaux pour tramways. — Le courant de 11 000 volts est transformé à 360 volts et alimente des commutatrices de 500 chevaux. — 1 000 chevaux distribués à 2 200 volts par des transformateurs de 250 kw.

Station n° 5. — 1 500 chevaux pour tramways (comme ci-dessus).

Station n° 6. — 1 000 chevaux (comme ci-dessus).

Station n° 7. — 5 000 chevaux transformés à 360 volts à la « Buffalo Lighting Company ».

» 1 000 chevaux transformés à 2 200 volts, distribués en puissance mécanique.

Station n° 8. — 2 000 chevaux transformés de 11 000 à 2 200 volts.

Station n° 9. — 1 500 chevaux transformés de 11 000 à 360 volts pour commutatrices de 500 chevaux alimentant des tramways.

Station n° 10. — 1000 chevaux pour tramways, comme ci-dessus.

de tramways et de lumière, et à la tension de 2 200 volts, aux petites usines à partir de 75 chevaux, où l'emploi des tensions trop élevées présenterait trop peu de sécurité. Au point de vue des décharges de rupture, des résonances, etc., les circuits de tension différente sont entièrement indépendants, l'expérience ayant montré que les élévations de voltage qui se produisent parfois sur la ligne aérienne ne se transmettent pas par induction, à travers les transformateurs réducteurs. Cette indépendance réalisée, en outre, dans le domaine des responsabilités, de l'administration et de la surveillance par suite de la création de Compagnies séparées pour la transmission, la distribution et l'utilisation de l'énergie, n'est pas ce qu'il y a de moins logique et recommandable dans ce système.

Le courant alternatif comme facteur de distribution de lumière et d'énergie, par **Charles Scott**. *Transactions*, t. XVIII, p. 821-827, novembre 1901.

Dans les grands centres où l'électricité est produite par des alternateurs, y a-t-il avantage à la distribuer sous forme de courant alternatif ou sous forme de courant continu après transformation. La simplicité du service, les dépenses de premier établissement des convertisseurs, l'indifférence de la nature du courant dans certains cas (incandescence), le prix exagéré de revient du kilowatt-heure produit dans des sous-stations de faible puissance font écarter le système de conversion de l'alternatif en continu dans beaucoup de cas ? Dans ceux où cette transformation est pratiquement économique, 1° quels sont les avantages du courant continu sur l'alternatif; 2° quels sont les inconvénients qui résulteraient de l'utilisation directe du courant alternatif? Pour la lumière, l'incandescence, l'arc en vase clos, la lampe Nernst s'accommodent bien, et cette dernière même mieux, du courant alternatif. Pour la force motrice, le courant alternatif s'adapte aux usages les plus variés, mais il n'a pas l'équivalent du moteur-série à courant continu pour les régimes variables ; encore doit-on tenir compte de la proportion des applications possibles du moteur-série dans le choix de la nature du courant. Aussi y a-t-il peu de cas où, dans une station nouvelle, l'un des courants puisse paraître plus avantageux que l'autre pour la fourniture de la force motrice.

Les sous-stations transformatrices constituent la grande différence des deux systèmes. Leur prix élevé en fait limiter le nombre, ce qui entraîne des dépenses et des pertes beaucoup plus fortes dans les canalisations qui doivent être plus étendues que pour la distribution par postes de transformateurs nombreux. Les complications du service, le danger des accidents et des interruptions de service y sont également plus grands [1].

Il est néanmoins difficile d'alimenter avec du courant alternatif un réseau fonctionnant antérieurement avec du courant continu ; cette raison, avec d'autres considérations économiques, ont fait conserver le courant continu, dans les distributions par sous-stations nouvellement créées dans les grands centres, à côté du courant alternatif destiné aux quartiers éloignés ou à des sous-stations de tramways [2].

En résumé, sans être encore la source d'énergie idéale (panacea plan), le courant alternatif est néanmoins l'instrument le mieux adapté à l'unification et à la concentration de la distribution de l'énergie par l'électricité.

Notes sur la distribution par courants alternatifs, par **W. Barstow**. *Transactions*, t. XVIII, p. 827-833, novembre 1901.

Ce qui a limité les distributions à courant alternatif, c'est l'absence de l'équivalent du moteur continu et des accumulateurs. Après avoir longtemps placé tous les transformateurs chez des particuliers, on a réuni par une ligne secondaire tous les circuits secondaires, mais avec l'augmentation de la consommation, l'équilibre des tensions n'a plus été possible. La seule méthode pratique de groupement des transformateurs sur un réseau secondaire est de relier chaque transformateur ou chaque groupe de transformateurs par un feeder dont on assure l'équilibre à la station. L'apparition du moteur polyphasé a donné un nouvel essor au courant

(1) La possibilité de l'emploi des accumulateurs fait aussi préférer le choix du courant continu ; mais on peut aussi, avec le courant alternatif, charger une batterie par l'intermédiaire d'une commutatrice et, par la transformation inverse, envoyer un courant alternatif de secours dans le circuit d'utilisation.

(2) Il y a des cas où les commutateurs servent à la fois à la lumière et à la traction, leur compoundage automatique maintenant le voltage suffisamment constant pour la lumière.

alternatif : la forme la plus commerciale de la distribution polyphasée est le biphasé à 4 fils ; mais le triphasé à 4 fils donne une plus grande économie de cuivre. L'emploi des basses tensions sur le secondaire de ces distributions entraîne des dimensions exagérées pour les lignes et les moteurs d'utilisation, ainsi que des artifices spéciaux de régulation si on veut distribuer la lumière. Pour y remédier, on a souvent supprimé le réseau secondaire et distribué directement avec le primaire transformé chez le particulier. Ce système est coûteux et délicat [1]. On a aussi créé des réseaux spéciaux pour la force motrice, ou bien des distributions à 4 ou 5 fils sur lesquels on prend des combinaisons de tensions pour les divers usages. Ce système ne s'est pas généralisé. Même dans les applications spéciales au courant alternatif, on ne se pénètre pas suffisamment des conditions futures pour en projeter l'établissement; on se contente trop d'un provisoire qui finit rapidement par manquer totalement son but

Enfin ce qui manque au courant alternatif, pour entrer dans la voie des distributions directes et compactes, c'est : 1° un moteur équivalent au moteur continu, 2° la suppression des transformateurs ou de tout appareil intermédiaire analogue, 3° l'équivalent des accumulateurs.

La distribution par courants polyphasés et son application à la distribution monophasée, par **W. L. R. Emmet**, *Transactions*, t. XVIII, p. 833-843, novembre 1901.

Les stations à courants triphasés sont les mieux appropriées aux usages les plus divers. Quand il s'agit d'utiliser les courants polyphasés par phase séparée, la génératrice triphasée s'y prête mieux que la diphasée; elle n'est ni moins bonne ni plus coûteuse que si elle avait été projetée pour une distribution monophasée. L'enroulement en étoile est, en général, à préférer car la génératrice triphasée permet, dans ces conditions, d'utiliser 75 à 84 p. 100 de sa charge normale, en phase séparée à deux conducteurs, avec le même échauffement que dans une distribution triphasée, avec trois conducteurs également chargés. Les moteurs et les commutatrices utilisées simultanément tendent

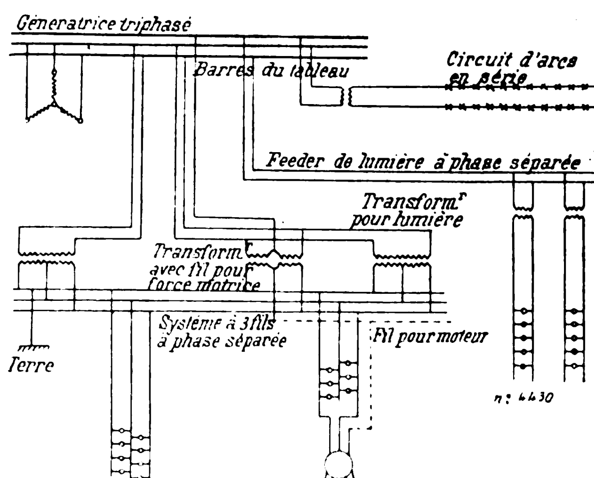


Fig. 1. — Distribution par courants triphasés avec trois fils secondaires.

à équilibrer les charges sur les phases ; et cette circonstance se présente dans la plupart des distributions triphasées. Les inégalités de tension sur les phases inégalement chargées peuvent être corrigées au moyen d'appareils régulateurs placés sur les feeders.

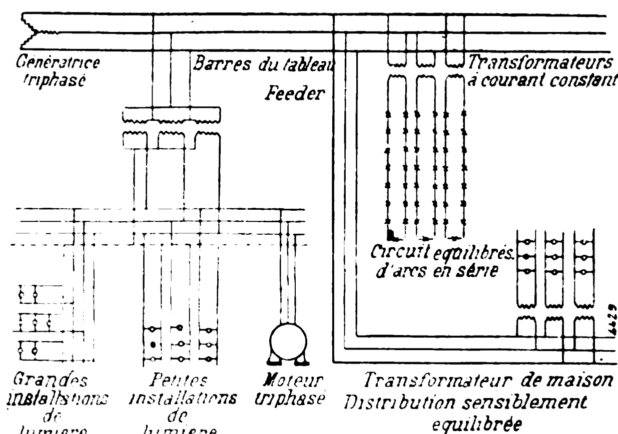


Fig. 2. — Distribution par courants triphasés avec quatre fils secondaires.

Il y a deux systèmes utilisés pour l'éclairage par courants triphasés : la distribution à 3 fils par phase séparée et la distribution triphasée à 4 fils.

Dans la distribution par phase séparée, l'équilibrage des charges se fait suivant les besoins

[1] L'ensemble des transformateurs doit avoir une capacité beaucoup plus forte parce que chaque transformateur doit pouvoir subvenir à la capacité totale de l'installation qu'il dessert. Tandis que les transformateurs disposés en quantité sur un réseau secondaire n'ont à fournir que la charge moyenne de ce réseau dans leur ensemble.

du trois-fils. Comme le montre la figure 1, des transformateurs sont branchés sur le primaire triphasé ; le secondaire est formé de 3 fils dont un relié au centre de l'étoile. La chute de tension primaire est assez faible et il est possible par de judicieuses combinaisons d'arriver à un réglage parfait sur le secondaire.

Dans la distribution secondaire à 4 conducteurs triphasés (fig. 2), le primaire des transformateurs est enroulé en triangle, le secondaire en étoile avec un fil neutre qui, pouvant avoir ici une section moindre, procure une légère économie de cuivre sur le système précédent.

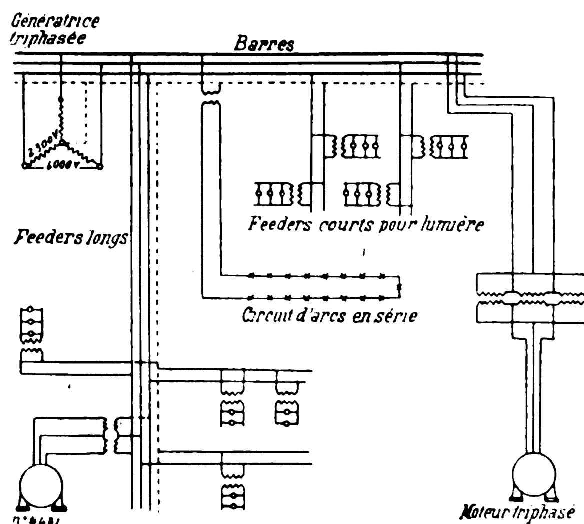


Fig. 3. — Distribution primaire à haute tension pour distribution secondaire à quatre fils.

Ces figures montrent de quelle façon s'introduit dans l'un et l'autre système le quatrième fil pour les moteurs triphasés, dont la présence est un précieux élément d'équilibre.

Dans le développement de ce genre de distributions, il est bon de réduire le plus possible le nombre des circuits à équilibrer, de faire en sorte que ce réglage soit possible à la station, de consentir à de faibles variations de voltage sur les circuits, et de répartir les charges dans chaque groupe de sorte que les variations soient relativement faibles par rapport à la charge totale du groupe. Les feeders devront être peu nombreux, présenter une perte de charge faible et la charge être distribuée le plus près possible de leur extrémité.

La figure 3 représente une distribution primaire qui se prête à la réalisation des conditions précédentes. On voit qu'on y utilise un quatrième fil issu du centre de l'étoile, avec une tension de 2 300 volts environ entre chaque fil et le neutre, et par suite 4 000 volts par phase. Le conducteur neutre est de préférence mis à la terre à la station et des appareils de réglage placés sur chaque conducteur de phase.

Souvent pour l'alimentation du voisinage de la station centrale, on prend plutôt des phases séparées pour les feeders, le fil neutre servant d'équilibre et de retour commun. S'il y a des moteurs, il faut néanmoins les trois fils de phase.

Les progrès du réglage automatique des générateurs triphasés les font utiliser même pour les basses tensions destinées au voisinage immédiat de la station. Les transformateurs élévateurs permettent d'utiliser ces génératrices pour les grandes distances, s'il y a lieu. La distribution à adopter est celle du triphasé à 4 fils ; les lampes sont équilibrées entre les fils extérieurs et le fil neutre et les moteurs placés sur les fils extérieurs. Si les moteurs sont de 220 ou 440 volts, les lampes seront respectivement de 125 et 250 volts. Cette distribution à basse tension convient aux gares de chemins de fer, aux résidences d'été, aux collèges, etc.

La distribution à 250-500 volts par 3 fils, par **Ph. Torchio**. *Transactions*, t. XVIII, p. 849-857, novembre 1901.

Les principales difficultés que rencontre la distribution à 500 volts par 3 fils sont 1° la difficulté de l'isolation, 2° le faible rendement des lampes à incandescence à 250 volts, 3° le fonctionnement délicat des arcs à 250 volts. Mais ces difficultés ne sont pas très sérieuses [1], surtout quand il s'agit d'installations nouvelles. D'autre part, l'économie réalisée sur la distribution à 250 volts dans des quartiers peu chargés est considérable et justifie la faveur dont jouit ce système en Angleterre et depuis peu en Amérique.

[1] En ce qui concerne l'isolement, les prescriptions actuelles pour les lignes à 250 volts suffisent en général pour 500 volts : la différence entre la durée de la lampe de 16 bougies à 250 volts et celle de la lampe à 110 est d'environ 10 p. 100, mais cette différence est encore plus faible si le consommateur emploie des lampes à 3,4-3,5 watts par bougie. Quant aux arcs, les lampes en vase clos par 2 en série, fonctionnent d'une façon satisfaisante. On emploie même déjà des lampes à arcs à 500 volts. (N. de l'A.)

Le Gérant : **C. NAUD.**

Tome XXX. Samedi 22 Février 1902 9e Année. — N° 8.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

REVÊTEMENT DES CABLES SOUS-MARINS

Les câbles sous-marins usuels affectent une des formes représentées par les figures 1 à 4 :
Câble à un conducteur à simple armure. — L'*âme* cylindrique occupe le centre. Elle est formée d'un toron de fils de cuivre entouré de matière solante.

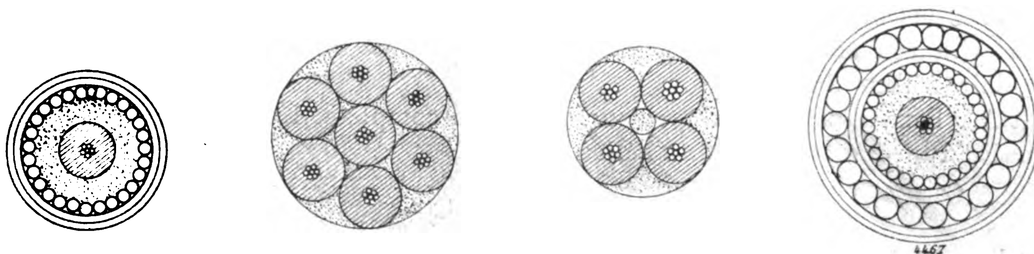


Fig. 1 à 4. — Diverses formes de câbles sous-marins.

L'âme est recouverte d'un *matelas* généralement constitué au moyen de deux couches de fils de jute enroulés en sens contraires.

Au-dessus du matelas est l'*armure* (fig. 1), composée d'un certain nombre de fils de fer ou d'acier enroulés en hélices. Les fils de l'armure doivent être jointifs.

Le tout est recouvert d'un *guipage* que l'on peut former au moyen de fils de jute, enduits d'un composé bitumineux, enroulés de la même manière que les fils du matelas, ou de rubans de toile également enduits de composé bitumineux.

Les fils de jute sont tannés, et les rubans de toile sont goudronnés au préalable, dans un but de conservation.

Câble à plusieurs conducteurs. — Dans un câble à plusieurs conducteurs, les âmes forment un *toron* dans lequel elles sont symétriquement disposées, enroulées en hélices, soit autour de l'une d'elles qui demeure rectiligne (fig. 2), soit autour d'une mèche centrale en matière textile (fig. 3).

Les vides laissés par les âmes sont remplis de matière textile (fils de jute), de manière à empêcher les écrasements des âmes les unes contre les autres et à donner au toron une forme cylindrique régulière.

Autour de ce toron cylindrique on dispose ensuite un matelas de fils de jute, puis une armure en fils de fer, et enfin un guipage de fils de jute ou de rubans de toile imprégnés de composé bitumineux.

Câble à double armure. — Qu'il soit à un ou à plusieurs conducteurs, un câble sous-marin peut comporter deux armures superposées (fig. 4).

Entre les deux armures on dispose généralement un guipage de fils de jute ou de rubans de toile enduits de composé bitumineux.

La seconde armure peut être elle-même recouverte d'un dernier guipage qui termine le câble à l'extérieur.

En résumé, on voit que l'étude du problème de l'application des revêtements de jute, de fer ou de toile sur les câbles sous-marins, revient à celle de l'enroulement de fils ou de rubans autour d'un cylindre.

Nous allons établir les formules générales applicables à ces revêtements ; nous donnerons ensuite quelques applications.

ÉTABLISSEMENT DES FORMULES

Soit :

D, le diamètre du cylindre à recouvrir,

d, le diamètre des fils à enrouler autour du cylindre D, à spires jointives,

n, le nombre des fils,

p, le pas de l'hélice d'enroulement.

Les axes des fils enroulés sont sur un cylindre dont le diamètre est $D + d$. Développons ce cylindre dans le plan du papier, et désignons par PP' (fig. 5) la trace d'un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre.

Soit AA' l'axe d'un fil développé sur une spire complète. La perpendiculaire A'B abaissée sur PP' représente le pas de l'hélice et l'on a

$$p = \pi (D + d) \operatorname{tg} \alpha. \qquad (1)$$

α étant l'angle d'enroulement.

Nous admettons que le plan normal à l'axe du cylindre coupe le fil suivant une section elliptique dont le petit axe est d et dont nous appellerons transitoirement δ le grand axe.

Cette hypothèse est permise parce que le pas de l'hélice est toujours très grand par rapport au diamètre du fil et que, par suite, sur une petite longueur de part et d'autre du plan sécant, la surface du fil enroulé ne cesse pas d'être un cylindre.

Cette approximation est la seule que nous admettions dans le calcul.

On a, sur la figure 5,

$$d = \overline{d_1 d_2}, \quad \delta = \overline{\delta_1 \delta_2}, \quad \delta = \frac{d}{\sin \alpha}. \qquad (2)$$

L'élimination de l'angle α entre les équations (1) et (2) donne

$$\delta^2 = \frac{d^2[\pi^2(D+d)^2 + p^2]}{p^2}. \qquad (3)$$

Considérons une section normale à l'axe du câble (fig. 6), et prenons pour axe des

Fig. 5.

Fig. 6.

abcisses le grand axe AA′ d'une section elliptique et pour axe des ordonnées, le petit axe BB′ dont le prolongement passe par le centre du cercle intérieur C.

Menons la tengente CT à l'ellipse, faisant axec l'axe des ordonnées un angle égal à $\frac{\pi}{n}$, et cherchons les coordonnées du point de contact.

L'équation de l'ellipse est

$$\frac{4x^2}{\delta^2} + \frac{4y^2}{d^2} = 1. \qquad (4)$$

L'équation de la tangente est

$$\frac{4\xi x}{\delta^2} + \frac{4\eta y}{d^2} = 1. \qquad (5)$$

Introduisons dans l'équation (5) les valeurs

$$\xi = 0, \ \eta = \frac{D+d}{2}, \qquad (6)$$

qui représentent les coordonnées du point C ; il vient

$$\frac{2(D+d)y}{d^2} = 1. \qquad (7)$$

Résolvons maintenant les équations (4) et (7) qui déterminent les coordonnées X et Y du point de contact.

$$Y = \frac{d^2}{2(D+d)}, \qquad X^2 = \frac{\delta^2[(D+d)^2 - d^2]}{4(D+d)^2}. \qquad (8 \text{ et } 9)$$

Remplaçons δ^2 par sa valeur (3); il vient

$$X^2 = \frac{d^2[\pi^2(D+d)^2 + p^2][(D+d)^2 - d^2]}{4p^2(D+d)^2}. \qquad (10)$$

On a, d'autre part,

$$\overline{CD}^2 = \overline{CT}^2 \cos^2 \frac{\pi}{n}$$

c'est-à-dire

$$\left(\frac{D+d}{2} - Y\right)^2 = \left[X^2 + \left(\frac{D+d}{2} - Y\right)^2\right] \cos^2 \frac{\pi}{n}. \tag{11}$$

En remplaçant X et Y par leurs valeurs (8) et (10) et en effectuant les réductions, on obtient

$$p = \frac{\pi d\,(D+d)\cos\frac{\pi}{n}}{\sqrt{(D+d)^2\left(1-\cos^2\frac{\pi}{n}\right) - d^2}}, \tag{12}$$

relation entre les quatre éléments du problème.

Pour que le pas ait une valeur réelle, il faut que l'on ait

$$d < (D+d)\sin\frac{\pi}{n}. \tag{13}$$

Géométriquement, l'inégalité (13) signifie qu'il faut que la perpendiculaire abaissée du centre de la section elliptique d'un fil sur la tangente CT (fig. 6) soit plus grande que le demi-diamètre du fil. Cette condition est effectivement remplie tant que la section du fil reste elliptique.

Lorsque

$$d = (D+d)\sin\frac{\pi}{n}$$

la quantité sous le radical de l'équation (12) devient nulle ; le pas devient infini ; la section du fil devient circulaire ; les fils sont alors juxtaposés parallèlement à l'axe du câble et il n'y a pas d'enroulement proprement dit.

Lorsque les fils sont très petits par rapport au cylindre à recouvrir, c'est-à-dire lorsque l'angle $\frac{\pi}{n}$ a une valeur très petite, la formule générale (12) est susceptible d'une simplification.

Multiplions le numérateur et le dénominateur par n.

$$p = \frac{\pi n d\,(D+d)\cos\frac{\pi}{n}}{\sqrt{(D+d)^2 n^2\left(1-\cos^2\frac{\pi}{n}\right) - n^2 d^2}}.$$

Le facteur contenant l'angle, sous le radical, peut s'écrire

$$n^2 \sin^2\frac{\pi}{n}.$$

Lorsque n devient infiniment grand, cette quantité tend vers π^2 et le cosinus de l'angle $\frac{\pi}{n}$ tend vers l'unité.

La formule prend alors la forme

$$p = \frac{\pi n d\,(D+d)}{\sqrt{\pi^2 (D+d)^2 - n^2 d^2}}. \tag{14}$$

Il serait commode d'avoir chacune des variables exprimée en fonction des trois autres. La séparation se fait aisément pour p, D et n ; mais on trouve une équation complète du 4ᵉ degré en d, irréductible. La détermination du diamètre du fil en fonction des trois autres données ne peut être faite que par un procédé d'approximations successives.

On a

$$D = \frac{pd}{\sqrt{p^2 - \cos^2\frac{\pi}{n}(p^2 + \pi^2 d^2)}} - d \tag{15}$$

$$\cos\frac{\pi}{n} = \frac{p\sqrt{(D+d)^2 - d^2}}{(D+d)\sqrt{p^2+\pi^2 d^2}}. \tag{16}$$

Si l'on se sert de la formule approchée, on trouve

$$D = \frac{ndp}{\pi\sqrt{p^2 - n^2 d^2}} - d \tag{17}$$

$$n = \frac{\pi(D+d)p}{d\sqrt{\pi^2(D+d)^2 + p^2}}. \tag{18}$$

L'ensemble des n fils peut être regardé comme une sorte de nappe ou ruban dont l'enroulement se fait, à bords juxtaposés, autour du cylindre D.

Supposons que les fils s'aplatissent jusqu'à n'avoir plus qu'une épaisseur e dans le sens radial du câble, sans que leur dimension d soit changée dans le sens tangentiel.

On aura alors une série de n bandes plates, de largeur d et d'épaisseur e, juxtaposées bord à bord dans leur enroulement autour du cylindre D. A cet ensemble on peut substituer un ruban unique de même épaisseur et de largeur

$$\lambda = nd.$$

En remplaçant dans les équations (14), (17) et (18) dont l'application devient légitime, la quantité d par l'épaisseur e, et la quantité nd par λ, on obtient les formules qui peuvent servir à résoudre les problèmes relatifs à l'enroulement des rubans.

$$p = \frac{\pi(D+e)\lambda}{\sqrt{\pi^2(D+e)^2 - \lambda^2}}. \tag{19}$$

$$D = \frac{p\lambda}{\pi\sqrt{p^2 - \lambda^2}} - e. \tag{20}$$

$$\lambda = \frac{\pi(D+e)p}{\sqrt{\pi^2(D+e)^2 + p^2}}. \tag{21}$$

A ces formules il convient de joindre la suivante, qui se tire de l'équation (1).

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{p}{\pi(D+e)}. \tag{22}$$

et qui fait connaître l'angle d'inclinaison que doit avoir, par rapport au plan de rotation autour du câble, la bobine qui porte le ruban, pour obtenir une bonne application de ce dernier.

Donnons quelques autres formules, dont l'établissement est facile, et qui seront d'un usage courant.

Développement d'un fil enroulé sur une longueur l de câble.

$$L = \frac{l\sqrt{\pi^2(D+d)^2 + p^2}}{p}. \tag{23}$$

Poids d'un recouvrement de fils de jute.

$$P = \frac{jnl\sqrt{\pi^2 (D+d)^2 + p^2}}{p}, \qquad (24)$$

j étant le poids du fil de jute par unité de longueur.

Poids de l'armure.

$$P = \frac{7{,}8\,\pi d^2 nl \sqrt{\pi^2 (D+d)^2 + p^2}}{4p}. \qquad (25)$$

Surface d'un revêtement de toile.

$$S = \pi (D+e)\,l. \qquad (26)$$

Si, dans les équations (23), (24), (25) et (26) ci-dessus, on fait $l = 1$ et que l'on exprime les diamètres, épaisseurs et pas en millimètres, les quantités L, P et S représenteront respectivement des kilomètres, kilogrammes et mètres carrés par kilomètre de câble.

Observation sur le pas de l'armure. — Quand il s'agit de l'armure, il est indispensable que la valeur de p qui entre dans les équations, ou le *pas théorique*, soit majorée, en passant à la réalisation mécanique, d'une certaine quantité, pour tenir compte des irrégularités des fils, courbures ou grosseurs

On peut admettre une majoration de

10 p. 100 pour les petits fils,
15 p. 100 pour les fils moyens,
20 p. 100 pour les gros fils.

D'autre part, des considérations mécaniques font adopter des valeurs pratiques du pas comprises entre certaines limites.

Nous admettrons pratiquement

200 à 250 millimètres pour les petits fils,
250 à 350 millimètres pour les fils moyens,
350 à 450 millimètres pour les gros fils.

On aura une bonne jointivité si le *pas théorique* majoré de 10 à 20 p. 100, selon le cas, se trouve compris dans les limites de *pas pratique* adoptées.

Applications

Dans les applications qui suivent, on admettra que les âmes ont le diamètre courant de 7 mm.

Le premier cas que nous envisageons est celui où la composition de l'armure est déterminée d'avance par des considérations de résistance mécanique.

I. — Soit proposé de confectionner un cable a un conducteur dont l'armure devra comprendre 10 fils de fer de 5 millimètres. — Les calculs pratiques devant tenir compte des dispositions de la machine à câbler, procédons à un examen sommaire préalable de cette dernière.

Machine à câbler. — Dans la machine que nous avons en vue, les divers revêtements sont appliqués simultanément par une série d'organes tournants solidaires d'un même arbre moteur.

Le câble passe dans les axes creux d'une suite de plateaux supportant, d'abord les bobines de fil de jute, ensuite les bobines de fil de fer, et plus loin les bobines de rubans de toile goudronnée du guipage extérieur.

La traction du câble est exercée par un tambour à axe horizontal, sur lequel le câble recouvert de l'armure fait trois tours, interposé entre le plateau à fils de fer et les plateaux à rubans de toile goudronnée (fig. 7).

La rotation simultanée des plateaux, pendant la progression du câble, produit les revêtements successifs de forme hélicoïdale.

Deux plateaux consécutifs ont toujours des rotations de sens contraires.

Le câble rencontre successivement sur son passage :

Le premier plateau à fils de jute,
Le deuxième plateau à fils de jute,
Le plateau à fils de fer,
Le premier plateau à ruban de toile goudronnée,
Le second plateau à ruban de toile goudronnée.

Les fils de l'armure sont imprégnés de goudron végétal coulant en cascade au-dessus

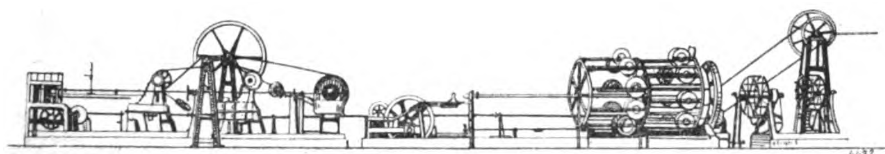


Fig. 7. — Vue d'ensemble de la machine à câbler.

du câble armé, entre le tambour d'entraînement et le premier plateau à ruban goudronné.

Après chaque application de toile goudronnée, le câble passe au-dessous d'une cascade de composé bitumineux chaud, mélange de brai, de coaltar et de silicate de soude.

Les fils de jute sont tannés avant d'être enroulés sur les bobines qui se fixent sur les broches des plateaux.

Des filières assurent une répartition convenable des fils de jute et de fer autour du câble et, après chaque revêtement, le câble passe dans une forme cylindrique, appelée *toupin*, qui le régularise et lui donne le diamètre voulu.

Des crépines à eau froide produisent la solidification de l'enduit bitumineux du guipage.

Un jeu de galets de rappel, mus par le moteur général, et placés à la sortie de la machine, maintient le câble rectiligne et tendu en avant du tambour d'entraînement.

Le pas de l'armure est la quantité dont le câble progresse pendant que le plateau à fils de fer accomplit une révolution complète.

Le tambour d'entraînement est relié au plateau à fils de fer par une série de transmissions comprenant une paire de roues dentées changeables, appelées *roues de pas*, au moyen desquelles on peut faire varier, dans certaines limites, les vitesses angulaires relatives du tambour et du plateau à fils de fer.

Si l'on désigne par :

P, le rapport, dans le sens allant du plateau à fils de fer au tambour d'entraînement, des nombres de dents des roues de pas,

R, le rapport, dans le même sens, des parties invariables de la transmission,

T, le diamètre du tambour,

Δ, le diamètre du câble armé,

le pas de l'armure sera donné par l'expression

$$p_f = \pi RP(T + \Delta). \qquad (a)$$

...

Dans la machine que nous avons en vue

$$R = 0{,}05, \; T = 1\,747{,}6 \text{ mm}.$$

On aura dans ce cas

$$p_f = 0{,}05\,\pi\,(1\,747{,}6 + \Delta)\,P \text{ mm}. \qquad (a')$$

On dispose d'un certain nombre de roues de pas, de dentures variées, dont les combinaisons permettent de donner au rapport P diverses valeurs et de modifier en conséquence le pas de l'armure.

Les plateaux à fils de jute sont reliés au plateau à fils de fer par une série invariable de transmissions. Il s'ensuit que si l'on désigne par

p_f, le pas du fer,
p_j, le pas du jute pour un des plateaux,
ω_f, la vitesse angulaire du plateau à fer,
ω_j, la vitesse angulaire du plateau à jute,

on a

$$p_f \omega_f = p_j \omega_j ;$$

d'où

$$p_j = \frac{\omega_f}{\omega_j}\,p_f. \qquad (b)$$

Dans la machine que nous envisageons, le rapport $\frac{\omega_f}{\omega_j}$ varie légèrement de l'un à l'autre des deux plateaux à jute, et l'on a

$$\left.\begin{aligned} p_{j1} &= \frac{p_f}{3{,}5297} \\ p_{j2} &= \frac{p_f}{3{,}4743} \end{aligned}\right\} \qquad (b')$$

Les roues de pas se trouvent comprises dans la liaison entre le plateau à fils de fer et les plateaux à rubans de toile goudronnée.

En désignant par p_r le pas d'enroulement du ruban, on a dans la machine considérée,

$$p_r = \frac{p_f}{3{,}5981\,P}. \qquad (c')$$

Les deux plateaux à rubans se trouvent animés de vitesses angulaires égales.

Ainsi, dans la machine que nous venons de décrire sommairement, les pas des enroulements de jute et de la toile goudronnée s'expriment en fonction du pas, préalablement déterminé, des fils de l'armure.

On pourrait fixer *a priori* une valeur du pas de l'armure et déduire de l'équation (15) le diamètre du cylindre inscrit, ce qui permettrait de déterminer la composition du matelas de jute devant occuper l'espace compris entre l'âme et l'armure ; mais la nécessité de recourir, pratiquement, pour former le matelas, à une combinaison de fils de calibres courants, oblige à employer une méthode de calcul par approximations successives.

Composition du matelas de jute. — Admettons un pas pratique de 260 mm et un pas théorique de

$$\frac{260}{1{,}1} = 236.$$

L'équation (15) donne

$$D = 11{,}58 \text{ mm}.$$

Le matelas de jute, comprimé par l'application de l'armure, ne conserve pas sa section

primitive limitée par deux circonférences concentriques, une partie de la matière textile se logeant dans les interstices des fils de fer.

Néanmoins, si l'on désigne par

E, l'épaisseur du matelas de jute avant la compression,

E', la différence des rayons du cylindre inscrit dans l'armure et de l'âme du câble,

on peut conventionnellement appeler *compression du jute* le rapport

$$\frac{E - E'}{E}.$$

L'expérience a appris que la valeur de ce rapport peut varier de 0,4 à 0,5.

Dans le cas présent,

$$E' = \frac{11,58 - 7}{2} = 2,29.$$

Dans les limites de compression ci-dessus, on trouve

$$4,16 < E < 4,58.$$

On pourra donc, en employant des fils de jute de calibres usuels, former le matelas de deux couches, la première en fils de 1,5 et la deuxième en fils de 3 millimètres, ce qui donnera

$$E = 4,5.$$

Pas de l'armure. — Admettons, pour le matelas ainsi constitué, une compression de 0,49. On obtiendra une nouvelle valeur de D, plus approchée

$$D = 11,59 \text{ mm}$$

et l'équation (12) donnera le pas théorique

$$p = 232.$$

Le pas pratique cherché sera

$$232 \times 1,1 = 255 \text{ mm}.$$

En introduisant dans l'équation (a') les valeurs

$$p_f = 255$$
$$\Delta = 11,59 + 5 \times 2 = 21,59$$

on trouve

$$P = 0,918.$$

La combinaison réalisable des roues de pas qui fournit le rapport le plus voisin de la valeur cherchée est

$$P' = \frac{44 \text{ dents}}{48 \text{ dents}} = 0,917.$$

Adoptons cette combinaison qui donnera le pas définitif de l'armure

$$p_f = 254,8 \text{ mm}.$$

La petite correction du pas de l'armure à laquelle nous a conduit le choix des roues dentées n'a pas d'influence sensible sur le diamètre du câble, car, si l'on différencie l'équation (15) par rapport à p, on obtient la relation

$$\frac{\partial D}{D} = -\frac{\partial p}{p} \times 0,012$$

qui montre que le diamètre du câble varie en sens inverse du pas, mais que la variation du diamètre n'est que le centième environ de celle du pas.

Poids de l'armure par kilomètre. — L'équation (25) donne

$$P = 1\,563 \text{ kg}.$$

Pas des fils de jute. — Appliquons les équations (b'). On aura pour la première couche

$$p_{j_1} = \frac{254,8}{3,5297} = 72,2 \text{ mm}.$$

et pour la deuxième couche

$$p_{j_2} = \frac{254,8}{3,4743} = 73,3 \text{ mm}.$$

Nombre de fils de jute. — Première couche.

Dans l'équation (16) portons

$$D = 7,\ d = 1,5,\ p = 72,2\,;$$

il viendra

$$\cos\frac{\pi}{n_1} = 0,9815$$

et

$$n_1 = 16.$$

Deuxième couche.

$$D = 10,\ d = 3,\ p = 73,3$$

d'où

$$\cos\frac{\pi}{n_2} = 0,9644$$

et

$$n_2 = 11.$$

Poids du jute par kilomètre. — Admettons, comme poids de 1 m de fil de jute

0,85 gr pour le fil de 1,5 mm,
3,8 gr pour le fil de 3 mm,

et appliquons l'équation (24). On aura, pour la première couche,

$$P_1 = 14 \text{ kg}$$

et pour la deuxième couche

$$P_2 = 48 \text{ kg}.$$

Pas du guipage. — L'équation (c') donne

$$p_r = \frac{254,8}{3,5982 \times 0,917} = 77,2 \text{ mm}.$$

Largeur des rubans. — Première enveloppe.

Dans l'équation (21) portons

$$D = 21,59,\ e = 0,9 \text{ (épaisseur usuelle des rubans)},\ p = 77,2\,;$$

on trouvera

$$\lambda_1 = 52 \text{ mm}.$$

Deuxième enveloppe.

La quantité D seule change. L'épaisseur du ruban, avec son enduit bitumineux, étant de 1,25 mm environ, on aura pour la deuxième enveloppe

$$D = 24,09,\ e = 0,9,\ p = 77,2\,;$$

et

$$\lambda_2 = 55 \text{ mm}.$$

Angles d'enroulement des rubans. — On aura, d'après l'équation (22), pour la première enveloppe

$$\text{tg } \alpha_1 = 1{,}0927,$$

d'où

$$\alpha_1 = 47°30' ;$$

et, pour la deuxième enveloppe,

$$\text{tg } \alpha_2 = 0{,}9834,$$

d'où

$$\alpha_2 = 44°30'.$$

Surface des rubans par kilomètre. — L'équation (26) nous apprend qu'il faudra, pour un kilomètre de câble,

71 m^2 de ruban de toile de 52 mm,
79 — — de 55 mm.

Spécification du câble. — Finalement, le câble sera constitué comme il suit :

		Poids kilométriques.
Ame		64 kg.
Matelas de jute.	1re couche. — 16 fils de 1,5 mm. — 14 kg. / 2e couche. — 11 fils de 3 mm. — 48 kg.	62 »
Armure, 10 fils de fer galvanisé de 5 mm		1 563 »
Guipage.	1re enveloppe, ruban de 52 mm. — 71 m^2 / 2e enveloppe, ruban de 55 mm. — 79 m^2 — Poids avec l'enduit	261 »
	Total	1 950 kg.

(*A suivre.*)

Paul Bayol,
Ingénieur,
Chef du service des câbles sous-marins
et de l'usine de la Seyne.

ÉTUDE COMPARÉE DES SYSTÈMES ET APPAREILS DE TRACTION ÉLECTRIQUE

La réunion du Congrès et de l'Institut américain des Ingénieurs Électriciens à Buffalo aux mois d'août et septembre 1901 a été l'occasion de très intéressantes communications, résumant l'état actuel de l'industrie électrique aux États-Unis. Parmi les plus intéressantes se classe celle de M. E.-J. Berg, sur le Matériel employé pour la traction électrique : non seulement son mémoire donne l'exacte idée des installations électriques de traction aux États-Unis, non seulement il examine les caractères propres de tous les appareils susceptibles d'entrer dans la composition des usines ou du matériel roulant, mais il précise très clairement les conditions d'emploi particulièrement avantageuses à chaque appareil, les raisons de préférence donnée à tel ou tel système en faveur aux États-Unis : l'auteur a soin de n'en pas exclure la considération des courants alternatifs au point de vue de leur application directe à la traction, malgré l'insuccès du système aux Etats-Unis.

Les discussions soulevées au sein du Congrès par quelques partisans européens de la traction à courant alternatif ont amené les américains à développer très nettement les raisons de leur préférence.

MM. Steinmetz, Scott, Berg, Armstrong, etc., ont déclaré que leurs tentatives pour l'établissement d'un matériel de traction à courant alternatif, susceptible d'un emploi général avantageux, avaient été absolument décourageantes, et que leur conviction, fondée non sur des *a priori* ou des préférences commerciales, mais sur une longue expérience et sur une analyse consciencieuse, ne leur permettait plus d'espérer le prompt développement de la traction par courant alternatif, en dehors de cas exceptionnels qui se sont rarement présentés aux États-Unis et dont l'Europe offre plus particulièrement l'exemple.

C'est surtout à M. J. Berg que nous sommes redevables des données les plus précises et les plus décisives.

Nous exposerons d'après lui l'état actuel des différents appareils constituant le matériel de traction, à courant continu aussi bien qu'à courant alternatif, et nous lui emprunterons l'étude qui est consacrée aux avantages comparatifs des deux systèmes et l'exemple typique, qui termine cette étude, puisqu'il offre le meilleur moyen de comparaison possible et qu'il peut servir d'exemple dans l'étude de cas analogues ou différents.

Nous diviserons donc l'étude suivante en trois parties :

1° et 2° Matériel générateur et transformateur et matériel moteur de traction à courant continu ou alternatif, suite de monographies consacrées aux diverses machines, avec les considérations pouvant fixer le choix entre elles.

3° Développement de la comparaison de la traction par courant continu à la traction par courant alternatif et calculs d'exemples.

I. — Matériel générateur et transformateur de traction a courant continu ou alternatif

Génératrices a courant continu. — Leur fréquence est toujours très faible, à moins de nécessités contraires qui s'y opposent. Le plus souvent on ne dépasse pas 6, 15 ou 18 périodes [1] : on atteint exceptionnellement 25 périodes dans les *Génératrices doubles*, ou dynamos appelées à fournir du courant alternatif en même temps que du courant continu.

Dans ce dernier cas le compoundage du continu est fait par un enroulement série à la manière ordinaire. L'alternatif n'est donc pas compoundé directement, il l'est d'ordinaire indirectement par l'action des réceptrices du réseau, dont les courants, convenablement déphasés suivant la charge, réagissent sur la ligne et l'alternateur pour en régler le voltage. On sait que l'alternateur n'est sensible à ces courants décalés que si sa réaction d'induit est suffisamment élevée. On donne donc aux génératrices doubles une réaction d'induit assez forte, puisque cela est nécessaire au compoundage par déphasage de l'alternatif et puisque cette réaction d'induit n'offre pas d'inconvénients pour le continu, compoundé par son enroulement série.

Quand il est impossible de régler par déphasage le voltage alternatif dans les *Génératrices doubles*, on lui donne une régulation intrinsèque meilleure, 6 p. 100, par exemple. Il en résulte, évidemment, une certaine chute de voltage, mais on n'a pas intérêt à pousser plus loin l'auto-régulation, parce que la marche des machines en parallèle deviendrait plus délicate et les courts-circuits plus dangereux.

Alternateurs. — Généralement à 25 périodes, et commandés directement par une machine à vapeur. La raison de cette fréquence peu élevée est le meilleur fonctionnement en parallèle sans aucun artifice et la facilité de construction des commutatrices, qui sont d'un emploi si répandu.

---

[1] Cette limite est loin d'être absolue : la maison Crocker-Wheeler la dépasse communément, et la maison Alioth a souvent construit des machines à courant continu dont la fréquence atteint et dépasse 50 périodes.

L'éclairage oblige à des transformations de la fréquence du courant [1] : on emploie dans ce cas des convertisseurs de fréquence ou des convertisseurs de courant (commutatrices ou groupes moteurs générateurs). Nous examinerons les uns et les autres dans la suite.

La chute de voltage des génératrices est d'ordinaire maintenue dans la limite de 6 à 10 p. 100. Elle dépasse souvent cette valeur quand on peut compter sur une réceptrice pour réagir et effectuer la régulation. Les valeurs élevées de la réaction d'induit offrent l'avantage de limiter automatiquement les courants échangés entre les alternateurs en parallèle et les courants dangereux de court-circuit.

L'emploi des circuits amortisseurs ne s'est pas répandu aux États-Unis :

1° Parce qu'on a pris l'habitude dès le début d'imposer aux constructeurs de moteurs à vapeur des conditions de régulation plus strictes.

2° Parce que le fonctionnement en parallèle d'alternateurs à 25 périodes n'offrait pas les mêmes difficultés que celui d'alternateurs à fréquence plus élevée.

Cette même raison de différence de fréquence explique encore pourquoi les alternateurs volants sont si peu répandus aux États-Unis.

Les enroulements sont toujours faits mécaniquement et enfouis dans des encoches ouvertes. La forme des dents et des pôles est étudiée de manière à donner une courbe périodique aussi voisine que possible de la sinusoïde.

Ces conditions et la recherche d'une bonne régulation conduiraient à multiplier le nombre d'encoches par pôle et par phase. Les raisons d'économie conduisent ordinairement à ne pas dépasser 3 pour un voltage inférieur à 6 000, 2 pour un voltage supérieur.

Le compoundage des alternateurs puissants n'est presque jamais direct, mais fait par réaction des réceptrices, ainsi qu'il a été dit plus haut. Le compoundage direct n'est employé qu'exceptionnellement et pour de petites machines.

Convertisseurs inversés. — On a construit pour 25 périodes un certain nombre de convertisseurs inversés, identiques à première vue aux convertisseurs d'alternatif en continu, mais très différents comme conditions de fonctionnement et comme constantes de construction. On les emploie pour alimenter des points d'un réseau de traction très distants de l'usine génératrice. Le problème souvent résolu par survolteurs l'est beaucoup plus généralement et plus favorablement par commutatrices inversées : celles-ci empruntent leur courant continu aux barres omnibus de l'usine génératrice et envoient leur courant alternatif à des sous-stations distantes ; on interpose, bien entendu, des transformateurs élévateurs de tension, puisque le voltage alternatif propre, des commutatrices, inférieur à leur voltage continu, serait impropre à la transmission à distance.

Il y a deux grandes différences principales à signaler entre la commutatrice et la commutatrice inversée :

1° La vitesse de celle-ci n'est pas réglée, comme pour la première, par la fréquence du courant alternatif, mais elle dépend de l'excitation, et cette excitation est soumise à l'influence des courants alternatifs empruntés à la machine, qui peuvent augmenter d'intensité ou de décalage dans un sens ou dans l'autre, et devenir ainsi, grâce à la réaction d'induit, magnétisants ou démagnétisants. Magnétisants, ou en avance, ils en diminuent la vitesse — démagnétisants, ou en retard, ils l'accélèrent, et cette accélération peut atteindre des valeurs élevées et dangereuses : on la limite déjà en rendant la machine aussi peu sensible que possible à ces réactions des courants alternatifs, c'est-à-dire en lui donnant une réaction d'induit aussi faible que possible.

Quoi qu'il en soit, cette limitation intrinsèque de la vitesse est toujours insuffisante et on a recours à des procédés divers de limitation automatique :

Le premier procédé consiste à disposer sur la machine des appareils à force centrifuge, commandant un disjoncteur qui lui coupe le courant continu et en interrompt le fonctionnement si l'accélération a dépassé la limite voulue.

[1] Ou à l'emploi de lampes polyphasées.

Un second moyen consiste à entraîner directement ou par courroie une excitatrice, dont le voltage croît avec la vitesse, en augmentant l'excitation de la machine, lorsqu'une certaine accélération est produite : cette excitatrice limite l'accélération possible, mais il va sans dire qu'elle ne la prévient pas.

Il est mieux, à cet égard, de munir la machine d'une excitatrice spéciale, sensible aux variations d'intensité et de décalage de courant. Une petite commutatrice montée sur l'arbre de la machine ou commandée par une transmission peut réaliser ce réglage d'une manière beaucoup plus parfaite.

2° Tandis que la commutatrice d'alternatif en continu peut maintenir, grâce au compoundage, le voltage aux bornes indépendant de la charge dans certaines limites, la commutatrice inversée n'est pas susceptible de compoundage, et son voltage alternatif diminue quand augmente l'intensité ou le retard du courant. Il est vrai, qu'elle alimente, le plus souvent, des commutatrices directes, et qu'on a la ressource de compounder celles-ci pour réagir sur les réactances de lignes et maintenir en définitive leur voltage continu constant.

Les commutatrices inversées fonctionnent souvent en parallèle avec les alternateurs, et il est d'usage d'imposer aux constructeurs de machines à vapeur les mêmes stipulations que dans les cas ordinaires.

Commutatrices. — Les commutatrices sont presque universellement employées; elles sont plus économiques d'installation que les moteurs générateurs, elles peuvent donner un voltage beaucoup plus rigoureusement constant que ceux-ci, mais en revanche, elles se prêtent moins bien au compoundage.

C'est généralement à 25 périodes qu'on les construit aux Etats-Unis, et leur emploi s'étend à tous les cas où des circonstances particulières ne font pas craindre les inconvénients très graves des mouvements pendulaires. Ces mouvements pendulaires peuvent avoir des causes très différentes : d'abord l'irrégularité de la marche des moteurs à vapeur de l'usine, ensuite la séparation des commutatrices du réseau par une ligne de résistance élevée, ou encore la lenteur de la commutatrice à suivre, par son magnétisme, les variations du voltage appliqué ou bien encore les fluctuations brusques de ce dernier sous l'effet de causes extérieures.

On se préserve des premières causes provoquant des mouvements pendulaires en imposant aux constructeurs de machines à vapeur des conditions sévères. Quand les machines sont installées et qu'on ne peut plus recourir à ce moyen, on peut remédier dans une certaine mesure aux irrégularités de marche des machines à vapeur, en installant sur le réseau des moteurs d'induction à grands effets d'inertie.

Les résistances élevées des lignes séparant des convertisseurs ont en somme le même effet que les variations du voltage appliqué. Il faut que le circuit magnétique du convertisseur obéisse aussi rapidement que possible à ces variations. Les constructeurs ont soin d'écarter les causes pouvant augmenter le retard du magnétisme, par exemple, l'emploi de matériaux magnétiques à faible resistance ohmique : ils préfèrent alors la fonte à l'acier, et ils ont la ressource, au cas d'insuffisance de ces précautions, d'employer des circuits amortisseurs, placés non dans le passage du flux principal, c'est-à-dire dans les pôles, mais dans les espaces interpolaires. Naturellement cette disposition n'est efficace qu'au cas où le convertisseur donne des courants pendulaires, c'est-à-dire quand il y a une réaction d'induit suffisante pour produire dans le circuit amortisseur un courant suffisant : l'effet des fluctuations du voltage appliqué sur les convertisseurs n'est pas à craindre, si les circuits magnétiques suivent très exactement ces variations; mais, au cas contraire. l'état d'équilibre est instable et provoque des oscillations. Il est évident que, si la force électromotrice fournie à l'induit varie brusquement, le flux aussi doit varier dans les mêmes proportions, pour assurer la même position relative de l'induit et des inducteurs.

Si le magnétisme retarde, l'induit présente une position différente de celle qu'il aurait prise au cas contraire.

L'emploi des convertisseurs peut présenter encore un autre inconvénient : c'est la faiblesse relative du surcompoundage qu'on peut obtenir.

Pour obtenir un surcompoundage appréciable, il faut mettre en circuit, entre la commutatrice et l'alternateur, une réactance suffisante [1], et admettre pour toutes les charges des courants déwattés assez considérables. C'est du produit de ces deux quantités que dépend le compoundage, et le même produit est obtenu avec 50 p. 100 de courant en avance et 20 p. 100 de réactance, ou 20 p. 100 de courant et 50 p. 100 de réactance.

La réactance, au delà d'une certaine limite, entraîne une certaine instabilité de fonctionnement. Les courants déwattés affaiblissent le facteur de puissance et augmentent l'échauffement. On s'impose en général les moyennes suivantes, dont on ne peut pas s'écarter beaucoup :

15 p. 100 de réactance dans le circuit et 6 p. 100 de résistance.

Il est possible d'obtenir alors un voltage presque constant à toute charge avec les facteurs de puissance indiqué dans le tableau I.

Par un ajustement différent du compoundage on peut placer la charge non-inductive à 3/4 de charge, avec les facteurs de puissance indiqués dans le tableau II.

Tableau I	Tableau II
60 p. 100 à 1/4 de charge.	73,5 p. 100 à 1/4 de charge.
91,5 p. 100 à 3/4 de charge.	97,5 p. 100 à 1/2 charge.
100 p. 100 à pleine charge.	99,5 p. 100 à 50 p. 100 de surcharge.
99,5 p. 100 à 50 p. 100 de surcharge.	98 p. 100 à pleine charge.
96,5 p. 100 à double charge.	96 p. 100 à 200 p. 100 de charge.

Dans ces conditions le voltage, non seulement reste à peu près constant à toute charge, mais le demeure encore à 1 p. 100 près jusqu'à 50 p. 100 de surcharge.

Pour alimenter plusieurs commutatrices fonctionnant dans une même usine, il est bon d'employer des transformateurs indépendants, ou au moins à secondaires indépendants, sous peine d'échanges de courants considérables si les lignes de balais à courant continu ne sont pas identiquement placées sur les commutatrices.

Il n'y a aucun inconvénient à donner à ces transformateurs une grande self-induction, puisqu'on est souvent obligé d'ajouter une réactance pour le compoundage.

Le grand avantage des commutatrices est l'économie d'une machine et le meilleur rendement; enfin, la parfaite égalité de voltage à toute charge serait irréalisable avec les dynamos à courant continu : en revanche, celles-ci pourraient fournir un surcompoundage beaucoup plus considérable.

Dynamos a courant continu commandées par moteurs synchrones. — Leur emploi peut permettre l'économie de transformateurs réducteurs, indispensables avec les commutatrices; il permet aussi de soustraire le voltage continu aux influences du voltage alternatif, qui ne dépend plus alors que de la vitesse; enfin, il permet de faire varier le voltage continu daus de grandes limites par la simple manœuvre d'un rhéostat.

Au point de vue des mouvements pendulaires, les moteurs synchones n'en sont pas plus exempts que les commutatrices : il est même plus difficile, au moins quand ils sont enroulés pour des voltages élevés et avec peu d'encoches, en général, de leur appliquer le dispositif antipendulaire, qui s'applique si bien aux enroulements bien distribués de la commutatrice, et qui expose beaucoup moins celle-ci aux fortes dissipations d'énergie par courants parasites daus les amortisseurs.

Un moteur synchrone à haut voltage est à cet égard bien inférieur à un moteur enroulé pour bas voltage. Il y a d'autant moins de raisons souvent de le préférer qu'il est aussi cher que le second moteur et ses transformateurs réunis.

On peut préférer ceux-ci dans les cas spéciaux conduisant à considérer comme avantageuses les conditions suivantes :

Enroulement direct pour haut voltage et suppression de transformateurs réducteurs.

---

[1] Ou encore y suppléer en construisant les transformateurs en vue d'une certaine dispersion.

Voltage continu indépendant du voltage alternatif et dépendant de sa seule fréquence.

Enfin, voltage continu variable à volonté par le jeu d'un rhéostat.

Il ne convient pas de s'exagérer le premier avantage : Un moteur synchrone à haute tension est souvent aussi cher que l'ensemble du moteur à haute tension et l'ensemble de ses transformateurs-réducteurs. Il a aussi beaucoup moins de résistance aux mouvements pendulaires, puisque l'emploi d'amortisseurs est plus difficile et provoque, en raison du plus petit nombre d'encoches, des courants parasites plus considérables.

Au point de vue des courants parasites le moteur synchrone est loin d'offrir une supériorité quelconque sur les commutatrices, et c'est plutôt le contraire qui serait le cas général.

Dynamos a courant continu commandées par moteurs asynchrones. — Les paragraphes précédents font deviner déjà le parti qu'on peut tirer des dynamos commandées par moteurs d'induction sur un réseau alimentant déjà des moteurs synchrones ou des commutatrices.

Les moteurs d'induction peuvent améliorer les conditions de fonctionnement et réduire, s'il y a lieu, les mouvements pendulaires. Leur stabilité de fonctionnement est recommandable pour les circuits présentant des voltages et des vitesses variables.

On les enroule très bien pour des tensions atteignant 2 et 3 000 volts; on est allé jusqu'à 10 000 volts, mais à des prix de revient qui n'étaient pas alors inférieurs aux prix réunis des transformateurs réducteurs et des moteurs, ou, alors, on a sacrifié en les faisant certaines qualités de fonctionnement de ces machines.

(*A suivre.*)

P. Letheule.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS

Moteur à courant continu à vitesse variable, système Ziehl. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 1, 1er octobre 1901.

Le dispositif proposé par Ziehl permet de faire varier la vitesse d'un moteur entre de larges limites sans que le rendement en soit sensiblement altéré. Ce résultat est obtenu par l'emploi d'un enroulement variable disposé sur l'induit, traversé par le même courant et produisant une force contre-électromotrice.

Cette force contre-électromotrice, qui agit dans le même sens que celle de l'enroulement habituel de l'induit à courant continu et participe aussi au travail produit par le moteur, abaisse la tension aux bornes provenant de l'extérieur et diminue, suivant la grandeur de l'enroulement, le nombre de tours du moteur sans influencer son rendement.

Les deux enroulements en série sont disposés dans les mêmes dentures de l'induit; l'enroulement ordinaire de courant continu va au collecteur de gauche (fig. 1) tandis que l'enroulement de force opposée est conduit à droite, à cinq bagues de contact; quatre de celles-ci sont par-

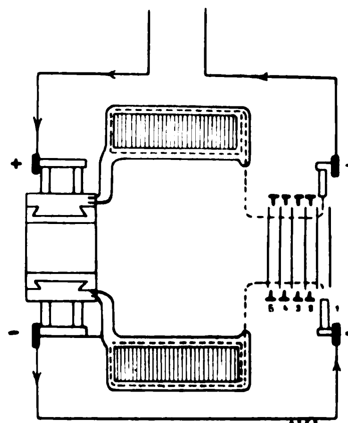


Fig. 1.

tagées en deux moitiés auxquelles sont reliées les différentes parties de l'enroulement auxiliaire, en vue de permettre la modification de cet enroulement, les points de liaisons ont les points diamétralement opposés aa_1 bb_1 cc_1 dd_1 (fig. 2). Lorsque

les balais sont sur la bague 1, l'enroulement auxiliaire est inséré en totalité; s'ils se déplacent jusqu'à la bague 4, la partie insérée va toujours en diminuant; sur la bague 5 qui n'est pas interrompue, l'enroulement est entièrement hors circuit, et le moteur travaille comme un moteur continu ordinaire.

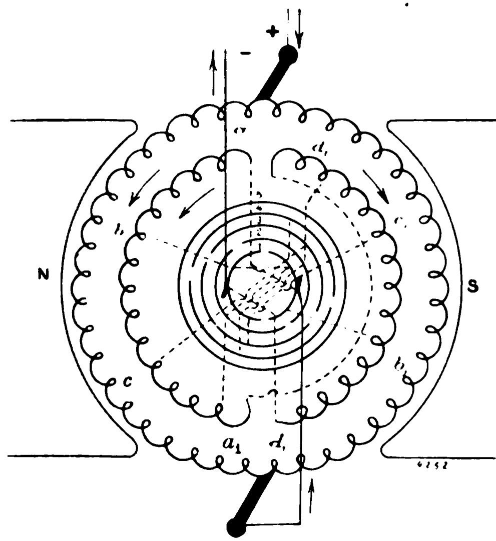


Fig. 2.

Pendant la rotation de l'induit, l'enroulement auxiliaire engendre une tension alternative qui est redressée au moment du passage par zéro par le jeu des bagues commutatrices, de façon à agir toujours dans la même direction sur la force électromotrice du courant continu. La commutation se faisant au moment du passage par zéro, il n'y a pas à craindre d'étincelles.

En outre des différentes vitesses qui correspondent aux positions des balais, la régulation s'achève par le régulateur usuel en dérivation.

Goisot.

Induit en court-circuit pour moteurs d'induction. Système de l'Œsterreichische Union Elektricitäts-Gesellschaft. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, p. 16, 15 octobre 1901.

La suppression du collecteur et des bagues de contact constitue un avantage important des moteurs d'induction; mais, en pratique, ces moteurs ne peuvent être établis que pour des charges relativement faibles. Cette difficulté provient de ce que le rapport le plus favorable entre la résistance ohmique et la résistance inductive n'est pas le même pour toutes les vitesses et en particulier est très différent à la mise en marche et dans le voisinage de la vitesse synchrone.

Il faut, pour obtenir un bon rendement et une puissance élevée, pouvoir changer ce rapport. Ceci n'avait encore été obtenu que par la jonction des circuits induits à des résistances variables au moyen de bagues de contact et de balais.

La disposition de l'Œsterreichische Union Elektricitäts-Gesellschaft est caractérisée par ce fait que chaque élément de l'induit est relié à deux systèmes d'enroulement qui ont le même nombre de pôles, mais dont l'impédance diffère. Ces deux systèmes sont en parallèle pour toutes les vitesses de l'armature tournante et présentent deux chemins aux courants induits. Il y a d'une manière constante partage du courant entre les deux systèmes. On choisit la résistance et la self-induction de chaque système de façon que dans l'un le rapport soit le plus avantageux au moment de la mise en marche et dans l'autre dans la marche au voisinage de la vitesse synchrone.

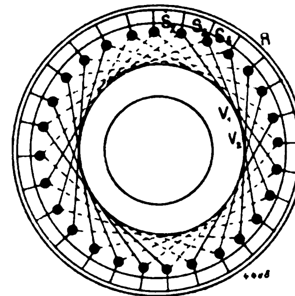


Fig. 1.

La distribution du courant est ainsi telle que, au démarrage, le moment de rotation est le plus grand possible et que, au synchronisme, on atteint le rendement le plus grand possible.

Dans la figure 1, les barres élémentaires S_1 S_2 S_3, etc., sont reliées par un anneau R à un induit en cage d'écureuil. Pour élever la self-induction de ce système d'enroulement en court-circuit, les barres avant d'atteindre l'anneau R sont conduites à un induit auxiliaire qui forme une bonne voie magnétique pour les lignes de force excitées par les courants qui circulent dans les barres mêmes. D'autre part, les barres S sont reliées par les liaisons V_1, V_2, etc., à un

induit polyphasé dont la résistance ohmique est relativement élevée. Dans ce cas c'est le premier enroulement qui a un rapport de la self-induction à la résistance plus grand que le second.

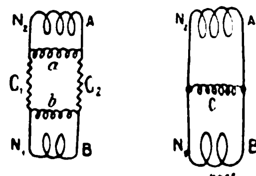


Fig. 2 et 3.

Les deux systèmes d'enroulement peuvent d'ailleurs être des systèmes quelconques en court-circuit et il n'est pas nécessaire qu'ils soient de nature différente.

Les figures 2 et 3 représentent des exemples de la disposition des parties élémentaires de l'induit: A et B sont les deux enroulements, *a b* C_1 C_2 des résistances de liaison. G. G.

TRACTION

Manchon d'éclissage et de connexion de rails sans boulons système Scheinig et Hofmann, pour le tramway électrique de Sinz-Urfohr; *Elektrotechnische Zeitschrift*, 14 novembre 1901, p. 954.

Les figures 1, 2 et 3 donnent une vue de ce manchon, utilisé pour joindre deux rails ; dans la figure 1 le manchon est accompagné d'une

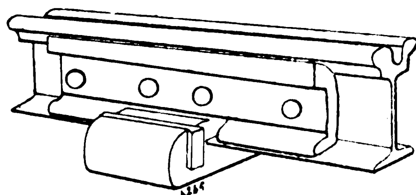


Fig. 1.

éclisse ordinaire ; dans la figure 2, il est employé seul.

Les manchons Scheinig-Hofmann ont été essayés sur un tronçon de voie unique du tramway de Linz-Urfohr, servant aussi de conducteur de retour pour le chemin de fer de montagne de Pöstling, et parcouru par des courants très intenses. Ce tronçon de voie était établi sur un mauvais lit de gros cailloux du Don, et il s'y produisait souvent des détériorations des joints des rails et des connecteurs en cuivre, d'où résultaient des perturbations considérables dans le réseau téléphonique du pays.

En novembre 1900, la voie fut munie de manchons Scheinig-Hofmann employés suivant trois procédés différents ; soit manchons de 8 cm de longueur, accompagnés d'éclisses ordinaires et

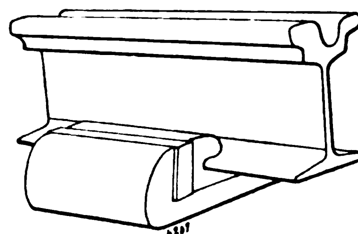


Fig 2.

de connecteurs en cuivre, soit manchons de 16 cm, avec éclisses mais sans connecteurs en cuivre (fig. 1), soit manchons de 20 cm, sans éclisses ni connecteurs en cuivre.

A partir de ce moment, les perturbations dans le trafic et dans les réseaux téléphoniques cessèrent complètement.

En 1898, le joint Falk, avait été essayé sur un tronçon de 600 m de longueur : les joints s'étaient montrés parfaits au point de vue mécanique et électrique; mais par suite de la déformation de la voie qui ne tarda pas à se produire aux voisinages des joints, les voitures subissaient de tels mouvements de balancement qu'il fallut diminuer la vitesse ; ce résultat était suffisant pour écarter complètement ce mode de jointure des rails.

En mars 1901, après 4 mois d'emploi, les essais effectués sur les manchons Scheinig-Hofmann ont conduit aux résultats suivants :

1° *Façon dont se sont comportés les joints pendant l'exploitation.*

Les voitures employées sont à un seul moteur; elles présentent un écartement des essieux de 1,6 m à 1,7 m; et pèsent de 7,5 à 8,5 tonnes ; elles se suivent à des intervalles de 2,5 minutes. Le rail est du profil Phénix, type 14 A, pesant 48,5 kg par mètre courant ; les manchons sont en acier coulé (charge de rupture 56 kg/mm²) et les coins en acier Martin.

Au bout de 4 mois, on ne constata aucune déformation du joint, ni du profil, et le passage des voitures se faisait sans le moindre choc.

2° *Facilité de montage et de démontage du manchon.*

Pour démonter les manchons en usage depuis 4 mois, il a suffi de chasser les coins avec un marteau spécial, et les deux autres parties du manchon se sont ensuite enlevées sans difficulté. On a pu constater sur les parties en regard, des

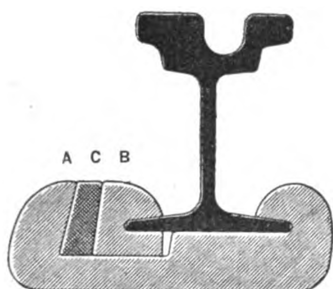


Fig. 3.
La chape A se monte à chaud, la chape B et le coin C à froid.

surfaces métalliques brillantes de plusieurs centimètres carrés, ce qui montre que le contact entre ces pièces est excellent. Pour remonter le manchon, on chauffe au rouge, dans un fourneau mobile à charbon de bois, la chape A (fig. 3), et on les replace en enfonçant les coins B et C : le remontage, une fois la pièce au rouge, dure deux minutes.

3° *Conductibilité électrique du joint.*

Les mesures ont été faites en relevant au moyen d'un millivoltmètre Weston, la chute de tension entre deux points du rail situés à environ 51 cm de part et d'autre de l'axe du joint, sous un courant de 50 ampères fourni par une batterie d'accumulateurs, placée, ainsi que les appareils, sur un véhicule approprié.

Les chutes de tension relevées ont été les suivantes : pour les manchons sans éclisses ni barres de cuivre, de 6,3 à 8,1 millivolts ; avec éclisses et sans barres de cuivre, 6,3 à 8,3 millivolts ; pour des connecteurs en cuivre de 102 cm de longueur sous 107 mm² de section, sans manchon, 6,3 à 12,6 millivolts.

A la suite de ces résultats, la reconstruction de toute la voie avec adoption générale de manchon Scheinig-Hofmann [1] fut décidée. Commencée au mois de mars 1901, sans interrompre le trafic, elle a été terminée au mois d'août.

Le prix de revient du joint avec manchon de 16 cm en conservant les éclisses et connecteurs de rails, a été de 14,04 kr, soit 28,08 fr, et du joint avec manchon de 20 cm, seul, de 16,64 kr, soit 33,28 fr, en comptant le florin à 2 fr.

A. M.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 7 février 1902.

M. P. Villard expose ses curieuses recherches ***sur une propriété nouvelle des corps traités par l'ozone.***

Cette propriété a été découverte au cours d'essais tendant à rechercher si, en portant une des faces d'une lame métallique suffisamment mince à un potentiel instantané très élevé, on ne pourrait pas déceler de l'autre côté l'existence d'effluves ou d'aigrettes.

Une lame d'aluminium de 0,01 mm d'épaisseur était placée au voisinage d'une plaque photographique ; du côté opposé à la plaque jaillissaient sur la lame de nombreuses étincelles. Une lame de platine témoin était voisine de la lame d'aluminium. Au développement on ne trouva rien qui indiquât la production de l'effet cherché au droit des points où jaillissait l'étincelle, mais on constata que la plaque était voilée, sauf sous la lame de platine, ce qui pouvait s'expliquer par un rayonnement émané de l'aluminium.

Ceci rappela à M. Villard une observation publiée par M. Moreau [2] quelque temps après la découverte de Röntgen. Une plaque photographique renfermée dans une boîte de carton complètement close avec une rondelle d'aluminium

[1] A raison de 2/3 en manchons de 16 cm avec les éclisses et connecteurs en cuivre existants, et 1/3 en manchons de 20 cm sans éclisses ni connecteurs ; d'autre part le tronçon monté avec joints Falk a été conservé exceptionnellement.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 310, 15 février 1896.

s'impressionnait quand on la plaçait entre une pointe positive et un petit plateau, parallèlement à l'aigrette produite par une bobine d'induction. M. Villard fit jaillir des étincelles devant une boîte à l'intérieur de laquelle se trouvait une plaque sensible et une rondelle métallique; la plaque fut impressionnée, sauf sous la rondelle. L'effet fut d'ailleurs très faible et se reproduisit avec moins d'intensité quand on répéta l'expérience avec la même boîte, puis on finit par ne plus rien obtenir.

L'effet s'observa de nouveau avec d'autres boîtes; on constata que l'épaisseur de la rondelle n'avait pas d'influence, que cette épaisseur fût constante ou variable d'un point à l'autre; qu'on pouvait à volonté opposer au métal l'une ou l'autre face de la plaque sensible. Enfin on put obtenir une impression en retournant l'appareil et même sans faire jaillir d'étincelle, pourvu qu'on eût une machine statique en rotation au voisinage.

Les essais relatifs à la transparence montrèrent que le platine était opaque et le papier d'étain transparent, mais que si on mettait le papier d'étain sous le platine, tout se passait comme si ce dernier métal était devenu transparent; la transparence semblait augmenter si l'on substituait à l'étain une feuille de papier.

Dans des expériences très soignées, où la boîte de carton était bien fermée et garnie de papier d'étain, on n'obtint aucun effet, tandis qu'en reprenant un appareil plus primitif, on observait quelque chose. L'effet tenait à l'existence de solutions de continuité dans l'enveloppe. Il était naturel de l'attribuer à la diffusion d'un gaz, qui ne pouvait être que l'ozone. En effet, une plaque enveloppée de papier noir et plongée dans l'ozone se voila fortement, sauf au-dessous d'une lame de platine introduite comme témoin; peut-être ceci tenait-il à ce que la lame touchait la plaque sensible.

Les plaques ainsi voilées peuvent être utilisées pour obtenir directement des positifs, comme celles qui ont été voilées par les rayons X; l'action qu'elles ont subie les rend très semblables aux plaques exposées au rayonnement du radium.

Poursuivant ses expériences, M. Villard soumit plusieurs fois une plaque enfermée dans une boîte de carton à l'action d'ozone amené par un tube. La première épreuve réussit assez bien, la seconde fut mauvaise, la troisième ne donna rien. La boîte avait perdu la propriété de laisser l'effet attendu se produire; l'ozone la *stérilisait*. En recommençant avec une boite neuve, on avait de nouveau une impression et ainsi de suite. Dans une boîte neutralisée l'effet reparaissait, si on introduisait une pièce de carton neuf; M. Villard essaya ensuite un corps qui agit très vivement sur l'ozone : le caoutchouc et obtint les mêmes résultats; l'action est donc liée *non à la seule existence de l'ozone*, *mais à la destruction de l'ozone*.

L'action n'est pas limitée à la destruction *actuelle* de l'ozone : du caoutchouc et du papier agissent quand on les tire de l'ozone où ils sont restés plongés pendant dix minutes. Cette action persiste même quand, après le bain d'ozone, on laisse le caoutchouc et le papier à l'air pendant vingt-quatre heures.

On pourrait penser que l'action est due à un gaz; il serait assez singulier que le même gaz pût provenir du caoutchouc et du papier; quoi qu'il en fût, il était désirable de reproduire l'effet observé au moyen de métaux. Le premier essai a porté sur le *bismuth* auquel, comme on se le rappelle, M. Villard a réussi à communiquer la radio-activité en l'exposant au flux cathodique; les résultats ont été extrêmement variés et restent douteux, peut-être à cause des impuretés nombreuses de ce corps. M. Villard a projeté en particulier un cliché qui semblait indiquer que du bismuth vendu comme pur agissait beaucoup plus énergiquement que tous les échantillons plus ou moins impurs qu'il avait utilisés déjà, mais il a reconnu que ce bismuth s'était trouvé pendant très longtemps au voisinage d'un flacon contenant de l'uranium, qui a pu lui communiquer une radio-activité.

L'*aluminium* donne généralement une impression, mais l'action est loin d'être uniforme; un certain nombre de points seulement agissent le reste ne produit qu'un voile assez faible. L'impureté active est-elle le silicium ? En chargeant le métal d'une grande quantité de silicium par fusion avec le fluosilicate de potassium, on obtient des fragments extrêmement actifs, d'autres qui ne donnent rien; d'ailleurs le *silicium* est inactif. Il en est de même du *fer*; le sodium peut être encore soupçonné.

Pour les métaux usuels non nettoyés, les résultats dépendent des impuretés qui les recou-

vrent. Une pièce de monnaie donne son effigie si elle est régulièrement sale; passée au feu, elle perd toute action, ce qui prouve que le *cuivre* est inactif.

L'action est-elle de nature électrique ? Il est difficile de se prononcer ; il est certain que la production de l'ozone est accompagnée d'une ionisation qui, si on dirige le gaz sur un électroscope, amène la décharge. Mais cet effet semble disparaître au bout de quelque temps ; il y a quelquefois abaissement du potentiel de l'électroscope, mais jusqu'à une certaine limite seulement, comme il résulterait de l'action d'une pointe ou de poussières, dont on parvient en général à reconnaître l'existence dans ces cas. Quant aux métaux qui, après ozonisation, se sont montrés très actifs vis-à-vis de la plaque photographique, ils n'ont agi que d'une façon incertaine sur un électroscope.

Aurait-on affaire à une diffusion gazeuse ? L'aspect des clichés rend cette hypothèse improbable ; même en présence d'un courant d'ozone l'impression se limite avec quelque netteté; un objet linéaire donne une silhouette élargie, mais non contournée.

Enfin l'action ne traverse pas le quartz, ce qui exclut un rayonnement ultra-violet ; un des nombreux clichés projetés semble indiquer qu'elle traverserait peut-être l'aluminium.

M. Villard rappelle en terminant que, comme Thénard l'a remarqué, le papier insolé présente les mêmes propriétés que le papier ozonisé ; le rapprochement est peut-être une identité ; il suffirait que sous l'action de la lumière violette, il se formât des traces d'ozone.

M. Wyrouboff pense que les métaux actifs dans les conditions étudiées par M. Villard sont ceux qui forment des peroxydes instables et qui abandonnent ensuite leur oxygène dans un état particulier ; ce serait le cas du sodium. Les matières organiques exerceraient une action analogue. Le manganèse ne donne rien à cause de la stabilité de son peroxyde ; quant à l'argent, l'existence même du peroxyde est incertaine.

M. Cornu rappelle l'influence qu'exerce sur les daguerréotypes la présence d'une trace de lavande subsistant sur la plaque ; il y a peut-être là un phénomène d'ozonisation ; d'autre part, certaines expériences de M. Villard semblent se rapprocher de celles de Möser, discutées par Fizeau.

M. Mercadier, M. Guillaume, M. Abraham, rappellent et discutent diverses actions photographiques de la décharge qui leur semblent devoir se rapprocher ou non, des phénomènes de M. Villard. Au sujet de ces travaux anciens, je me permettrai de renvoyer le lecteur à deux articles que j'ai publiés en 1896 dans la *Revue Générale des Sciences* sur les rayons de Röntgen.

C. Raveau.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Dans le compte rendu sommaire que nous donnions, dans le numéro du 16 novembre de ce journal (t. XXIX, p. 263), de la séance du 6 novembre de la Société Internationale des Électriciens, nous ne faisions que signaler les communications de MM. Maurice Leblanc, David et Boucherot ; nous annoncions la publication d'une analyse détaillée de ces importantes communications ; c'est ce que nous faisons ci-dessous, pour deux d'entre elles, d'après les textes publiés dans le *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*.

Etude du mouvement des machines à vapeur et accouplement des alternateurs en parallèle, par **Maurice Leblanc**. *Bulletin*, 2e série, t. I, p. 497-502.

Après avoir rappelé le programme d'études [1] que s'est tracé la première section du Comité, dont il est le président, M. Leblanc insiste sur les conditions particulières dans lesquelles se trouvent les machines à vapeur conduisant des alternateurs, conditions que les constructeurs de machines n'avaient jamais rencontrées jusqu'ici.

Dans les applications courantes des moteurs à vapeur, la commande des transmissions d'ateliers par exemple, le couple résistant qu'ont à vaincre ces moteurs ne dépend que de la vitesse, augmentant ou diminuant avec celle-ci. Dans le cas de moteurs commandant des alternateurs en parallèle [2], il en est autrement, la charge que prend chaque alternateur ne dépendant pas que

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 461, 21 sept. 1901.

(2) Quand un alternateur fonctionne seul et n'alimente que des appareils d'éclairage, son couple résistant ne dépend que de sa vitesse et augmente ou diminue avec elle ; les conditions sont alors les mêmes que dans le cas de la commande d'une transmission d'ateliers.

de sa vitesse, mais encore de l'avance ou du retard que cet alternateur peut prendre par rapport aux autres.

Pour bien faire saisir les conditions où se trouvent placées les machines à vapeur commandant ces alternateurs, M. Leblanc prend une comparaison mécanique : « Considérons, dit-il, un arbre de transmission portant plusieurs poulies-volants. Ces poulies sont commandées par autant de machines à vapeur distinctes, au moyen de courroies que nous pouvons supposer inextensibles et sans glissement. Mais les poulies-volants, au lieu d'être directement calées sur l'arbre de transmission, lui sont reliées par l'intermédiaire de joints élastiques. Enfin, l'arbre de transmission doit surmonter un couple résistant qui n'est fonction que de sa vitesse de rotation. Les machines à vapeur ainsi accouplées sont dans les mêmes conditions de marche que si elles commandaient séparément des alternateurs associés en parallèle. En effet, une vitesse moyenne commune leur étant imposée, le travail fourni par chacune d'elles ne dépend que de la charge de son régulateur de vitesse. Elles peuvent prendre des mouvements d'avance ou de retard les unes par rapport aux autres. Le couple résistant surmonté par chacune d'elles étant mesuré par la déformation du joint élastique qui relie sa poulie-volant à l'arbre de transmission et augmente lorsque la machine prend de l'avance et réciproquement. Enfin, n'étant pas reliées rigidement à l'arbre de transmission, elles peuvent prendre des mouvements d'oscillation les unes par rapport aux autres. »

De ces conditions particulières résultent deux conséquences. En premier lieu, si le régulateur d'une des machines est insuffisamment chargé, cette machine peut cesser de fournir du travail et se trouver mue par les autres ; 2° le mouvement oscillatoire relatif pourra avoir une amplitude gênante pour les applications, même si la machine fonctionnant seule a une régularité excellente.

Pour mettre en évidence cette dernière conséquence [1], M. Leblanc écrit la relation

$$J\frac{d\Omega}{dt} + C_a\frac{\Omega-\omega}{\Omega_m} + C_s\int_0^t(\Omega-\omega)\,dt = C_m - C_0\cos n\Omega_m t,$$

qui exprime qu'à chaque instant le couple résistant total, est égal au couple moteur, et où : J désigne le moment d'une des poulies-volant montées sur l'arbre de transmission, Ω la vitesse angulaire instantanée de cette poulie-volant, ω celle de l'arbre de transmission, $C_m - C_0 \cos n\,\Omega\, mt$ (où C_m, C_0 et n sont des constantes) le couple moteur, $C_a\frac{\Omega-\omega}{\Omega_m}$ un couple amortisseur proportionnel à la vitesse relative de la poulie par rapport à l'arbre et qui tend à s'opposer au développement des mouvements oscillatoires de la poulie, $C_0\int_0^t(\Omega-\omega)\,dt$ un couple exercé sur l'arbre par l'intermédiaire du joint élastique et qui est à chaque instant proportionnel à l'écart angulaire donné par l'intégrale.

L'expression de la vitesse angulaire Ω contiendra un terme constant Ω_m, vitesse angulaire moyenne de l'arbre, et une série de termes périodiques B_1, B_2, B_3..... Si l'on pose

$$\Gamma = -\frac{C_a}{\Omega_m}(\beta_1+\beta_2+\ldots) - C_s\left(\int_0^t\beta_1\,dt + \int_0^t\beta_2\,dt + \ldots\right),$$

on obtient :

$$J\frac{d\Omega}{dt} + C_a\frac{\Omega-\Omega_m}{\Omega_m} + C_s\int_0^t(\Omega-\Omega_m)\,dt = C_m - C_0\cos n\Omega_m t - \Gamma,$$

équation semblable à celle établie par M. Cornu dans le cas des systèmes oscillants.

Or, en résolvant cette équation dans le cas particulier où ω est constant et égal à Ω_m, c'est-à-dire dans le cas où $\Gamma = 0$, on trouve que Ω peut être considérée comme la somme de deux vitesses, l'une constante Ω_m, l'autre périodiquement variable dont la fréquence est $\frac{n\Omega_m}{2\pi}$ et dont la

(1) La première a été bien souvent constatée en pratique. Elle peut donner lieu à de graves accidents lorsque les espaces nuisibles de la machine sont très petits. En effet, l'introduction de la vapeur dans les cylindres étant alors nulle, le vide se fait dans les cylindres par le mouvement du piston et si ce vide est supérieur à celui du condenseur, il y a aspiration de l'eau de celui-ci au moment où les orifices d'échappement viennent à être ouverts.

Pour se prémunir contre un accident de ce genre il conviendrait de munir la machine d'appareils de sécurité spéciaux qui, par exemple, détermineraient une injection de vapeur dans le cylindre, dès que la pression y deviendrait trop voisine de celle du condenseur.

valeur maximum est donnée par une expression contenant au dénominateur le terme $(n^2 J \Omega_m^2 - C_s^2)$, et que, dans le cas où Γ n'est pas nul, à cette vitesse variable se superposent d'autres vitesses variables de fréquence $\frac{n' \Omega_m}{2\pi}$, $\frac{n'' \Omega_m}{2\pi}$... et d'amplitudes $(n'^2 J \Omega_m^2 - C_s^2)$, $(n''^2 J \Omega_m^2 - C_s^2)$... Les termes de Γ, dont la fréquence a une valeur voisine de $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C_s}{J^2}}$, peuvent donc donner lieu à des mouvements oscillatoires de très grande amplitude, quelle que soit la régularité des machines conduisant les poulies-volants.

En terminant, M. Leblanc fait observer que « il est bien certain que tout constructeur qui aurait eu à faire des machines devant travailler dans les conditions spéciales qui viennent d'être définies, se serait méfié de la production de mouvements oscillatoires. Le tort des électriciens a été de ne pas les avertir que, lorsque des alternateurs devaient être associés en parallèle, les choses se passaient comme si les arbres des volants des machines à vapeur avaient à surmonter des couples résistants par l'intermédiaire de joints élastiques ».

Il fait également remarquer que l'on pourra diminuer l'amplitude du mouvement oscillatoire en donnant une grande valeur au couple C_a, ce qui est possible par des procédés électriques quand la période des mouvements oscillatoires est plus courte que la durée d'un tour de la machine, en pratique au plus égale à une seconde, mais ce qui ne serait plus possible si les mouvements oscillatoires avaient une période durant plusieurs secondes, comme, par exemple, les oscillations propres du régulateur de vitesse.

Calcul de l'irrégularité et de l'angle d'écart des machines à vapeur conduisant des alternateurs, par **P. Boucherot.** *Bulletin,* 2e série, t. I, p. 529-553.

M. Boucherot, après avoir fait remarquer que ce qu'on nomme ordinairement le *coefficient d'irrégularité* peut être simplement appelé *irrégularité*, adopte pour définitions :

$$\text{Irrégularité par tour : } \frac{1}{R} = \frac{\Omega_{max} - \Omega_{min}}{2\,\Omega_{moy}},$$

$$\text{Régularité par tour : } R = \frac{2\,\Omega_{moy}}{\Omega_{max} - \Omega_{min}},$$

Ω_{moy}, Ω_{max}, Ω_{min}, désignant respectivement la vitesse angulaire moyenne et les valeurs maximum et minimum que prend la vitesse pendant la durée d'un tour.

Il appelle θ l'écart angulaire maximum entre la manivelle réelle de la machine et une manivelle idéale tournant avec la vitesse moyenne [1].

Ces définitions posées, M. Boucherot montre comment on peut déterminer par le calcul R et θ, d'abord pour une machine dont le couple résistant est constant, ensuite pour une machine commandant un alternateur accouplé en parallèle avec d'autres alternateurs. Une machine commandant un alternateur qui alimente seul un réseau de lampes se trouvant dans le premier cas, M. Boucherot examine ce cas sous le titre *groupe électrogène isolé ;* le second cas correspond à un *groupe électrogène couplé.*

1° Groupe électrogène isolé. — Dans ce cas, la détermination de R et θ n'exige que la mise en série de Fourier du couple moteur périodique de la machine à vapeur.

Cette série peut s'écrire

$$A + A_1 \sin \Omega_m t + A_2 \sin 2\Omega_m t + \ldots + B_1 \cos \Omega_m t + B_2 \cos 2\Omega_m t + \ldots$$

ou encore,

$$A + M_1 \sin(\Omega_m t + \varphi_1) + M_2 \sin(2\,\Omega_m t + \varphi_2) + M_3 \sin(3\,\Omega_m t + \varphi_3) + \ldots$$

où

$$M_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}, \qquad \operatorname{tang} \varphi = \frac{B_n}{A_n}$$

Au moyen d'un analyseur Henrici-Coradi,

---

[1] Si la variation de la vitesse angulaire est sinusoïdale, il existe une relation simple entre R et θ (exprimé en radiants). En effet, si

$$\Omega = \Omega_m + \Omega_0 \sin n\Omega_m t,$$

Ω_m désignant la vitesse moyenne et n le nombre d'impulsions par tour, on a

$$R = \frac{\Omega_m}{\Omega_0}, \qquad \theta = \int_0^{\frac{n}{2n\Omega_m}} \Omega_0 \sin n\Omega_m t\, dt = \frac{\Omega_0}{n\Omega_m}$$

et par suite

$$\theta = \frac{1}{nR}.$$

Dans le cas d'une machine monocylindrique à double effet, $n = 2$ et par conséquent l'écart angulaire maximum serait la moitié de l'irrégularité.

M. Boucherot a déterminé les valeurs des huit premiers termes de cette série pour 28 machines à vapeur, de constructeurs divers, dont il a pu obtenir les diagrammes [1] ; pour l'une d'elles il a même pu aller jusqu'au 16e terme.

Une fois le couple moteur développé en série, on en déduit l'expression de la vitesse Ω par une intégration, le couple moteur étant proportionnel à l'accélération ; de la série donnant la vitesse on en déduit l'espace parcouru par une nouvelle intégration. On a ainsi les éléments nécessaires au calcul de R et de θ.

Il est bien évident que les valeurs trouvées pour R et θ ne satisferont à la relation simple $\theta = \frac{1}{nR}$, obtenue dans l'hypothèse d'une variation sinusoïdale, que si dans la série qui donne Ω un terme d'ordre n est suffisamment prépondérant pour que les autres puissent être négligés devant lui. Le tableau des valeurs trouvées par M. Boucherot pour les coefficients $M_1, M_2, \ldots$ montrant que pour les machines à deux manivelles les coefficients des termes en $2\,\Omega_m$, $3\,\Omega_m$ et $4\,\Omega_m$ sont du même ordre de grandeur, la relation précédente ne pourra être appliquée à ces machines [2]. Pour les machines monocylindriques, au contraire, le terme en $2\,\Omega_m$ est prépondérant, du moins sous certaines conditions, et alors θ est sensiblement la moitié de l'irrégularité [1]. La valeur de θ ainsi déterminée coïncide d'ailleurs

---

(1) De ces 28 diagrammes, 19 ont été fournis par la maison Weyher et Richemond, se rapportant tous à des machines monocylindriques, dont 17 représentent les couples moteurs dus à la vapeur, sans tenir compte des effets d'inertie des pièces en mouvement alternatif et 2 représentent les couples dus aux pièces en mouvement alternatif, dans les cas extrêmes où ces pièces sont très légères et très lourdes, et peuvent être combinées avec l'un quelconque des 17 autres;

2 ont été fournis par M. Loppé et se rapportent à une machine Crépelle et Garand de 800 HP, à 2 cylindres, 2 expansions, 2 manivelles à 90°; malheureusement, dans leur établissement on n'a pas tenu compte des efforts d'inertie dus aux pièces en mouvement alternatif;

3 ont été fournis par la maison Dujardin et Cie et se rapportent à une machine de 1500 HP indiqués fournie aux chemins de fer d'Orléans, à 4 cylindres, 3 expansions, 2 manivelles à 90°;

4 ont été fournis par la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest et se rapportent à un de ses groupes de 1 100 kilowatts de l'usine des Moulineaux, à 3 cylindres, 3 expansions, 2 manivelles à 90°.

Ces diagrammes sont reproduits dans 5 planches du Bulletin et un tableau donne la valeur des coefficients A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3, M_1, M_2, M_3, pour les huit premiers termes de la série de Fourier.

(2) Cependant, est-ce un hasard, pour les deux machines à deux manivelles dont les diagrammes ont été analysés, on peut appliquer cette relation, *comme si la machine n'avait qu'une manivelle*. C'est ce que montre le tableau suivant des valeurs de θ calculées d'après cette relation et calculées par le constructeur.

	Charge	R.	θ déduit de R.	θ calculé par le constructeur.
			o	
Dujardin 1500 HP.	1500 HP	427+	0,067	0,067
» .		540—	0,053	0,057
» .	850	510+	0,056	0,067
» .		570—	0,05	0,053
Ouest 1 100 kw..	1 100 kw	620	0,046	0,046
» .	800 kw	820	0,035	0,04
» .	350 kw	750	0,038	0,041

(1) « En examinant de près le tableau des valeurs de M_1, M_2, M_3, on voit, dit M. Boucherot, que si l'on rapporte chacun des termes de la série concernant les couples produits par la vapeur, au couple moyen, cette série comprend :

» Le couple moyen C_m.

Plus un terme en $\Omega_m t$	ayant comme coeffic.	0,1 à 0,14	C_m
» $2\,\Omega_m t$	»	1,6 à 0,8	C_m
» $3\,\Omega_m t$	»	0,11 à 0,13	C_m
» $4\,\Omega_m t$	»	0,4 à 0,1	C_m

et d'autres termes moins importants.

» Donc, s'il n'y avait que le couple dû à la vapeur, l'écart angulaire pourrait être déduit de l'irrégularité avec une assez grande approximation, à toutes les charges, en divisant celle-ci par 2.

» Mais pour tenir compte du couple dû à l'inertie des pièces en mouvement alternatif, qui est à peu près invariable à vitesse constante, il convient d'ajouter un terme important en $2\Omega_m t$, qui est négatif par rapport au terme en $2\Omega_m t$ de la série précédente, et qui, selon que les pièces en question sont légères ou lourdes, a pour coefficient 0,17 C_n ou 0,55 C_n, C_n étant le couple normal moyen *en pleine charge*, correspondant à une admission de 30 à 35 p. 100.

» Si ce terme était absolument en phase avec celui en $2\,\Omega_m t$ de la série précédente, il y aurait une charge pour laquelle le terme résultant en $2\Omega_m t$ serait nul et pour laquelle, par conséquent, l'importance des termes auxiliaires serait au contraire considérable par rapport à celle du terme principal. Comme ces deux termes en $2\Omega_m t$ ne sont pas en phase, le résultat passe seulement par un minimum pour lequel les termes auxiliaires ne sont pas du tout négligeables par rapport au terme principal. Ce minimum, suivant que les pièces en mouvement alternatif sont légères ou lourdes, peut correspondre soit à la marche à vide, soit à la marche en demi-charge.

» C'est ce que l'on voit bien dans la figure *b* de la page qui montre la variation de l'écart angulaire avec la charge pour les deux poids extrêmes des pièces envisagées, écart

avec la valeur calculée par la méthode ordinaire comme le montre le tableau suivant :

	R.	θ déduit de R.	θ calculé
Mach. Weyher-Richemond, type 3	122	0°24	0°255
» type 5	394	0°072	0°074

Ainsi donc, on peut dans quelques cas particuliers déduire θ de R, mais il faut ne le faire qu'avec prudence et M. Boucherot conclut « qu'il y a toujours lieu de demander au constructeur de la machine à vapeur, non seulement l'irrégularité maximum de sa machine, mais aussi l'écart angulaire le plus grand. »

2° Groupe électrogène couplé. — Dans cette seconde partie de sa communication, M. Boucherot montre que l'écart angulaire d'un groupe couplé peut être complètement différent de ce qu'il est pour le groupe isolé.

Pour cette démonstration, M. Boucherot, au lieu d'aborder le problème dans toute sa généralité, considère d'abord un cas particulier aussi simple que possible. Il admet que le réseau sur lequel le groupe est couplé est infiniment grand et à fréquence rigoureusement constante ; il admet de plus que le couple moteur de la machine est de la forme

$$C_m - C_0 \cos n\Omega_m t,$$

angulaire calculé en vue de la seconde partie de ma communication, et déduit seulement du terme en $2\Omega_m t$, les autres étant laissés de côté. Numériquement, les ordonnées ne sont pas rigoureusement exactes au-dessous des $\frac{3}{4}$ de charge, mais cela montre bien l'allure générale de la variation de θ.

» On ne peut donc pas songer à déduire l'écart angulaire de l'irrégularité, pour la marche à vide ou à demi-charge. Pour la marche à pleine charge, au contraire, le terme en $2\Omega_m t$ résultant de la vapeur et de l'inertie combinées, redevient important, environ 0,8 C_m, ce qui permet de dire que dans ces conditions, à moins de faire volontairement des pièces en mouvement alternatif extrêmement lourdes, on peut tirer l'écart angulaire de l'équation

$$\theta = \text{environ } \frac{1}{2R}.$$

» Comme c'est presque toujours à pleine charge, sauf réserve ci-dessus déjà faite, que l'écart angulaire est le plus grand et comme c'est le plus grand écart angulaire possible qui nous intéresse, cette indication est bonne à retenir, bien que le chiffre ainsi obtenu ne soit exact qu'à 10 ou 15 p. 100 près, à cause des termes négligés.

c'est-à-dire contient un terme constant et un seul terme périodique ; cette hypothèse correspond au cas d'une machine monocylindrique si l'on fait $n = 2$.

En écrivant qu'il y a à chaque instant égalité entre le couple moteur et le couple résistant [1], on arrive à l'équation

$$C_0 \cos n\Omega_m t + C_s \int (\Omega - \Omega_m) dt + C_a \frac{\Omega - \Omega_m}{\Omega_m} + J \frac{d\Omega}{dt} = 0,$$

dont la solution est de la forme

$$\Omega = \Omega_m + a \sin n\Omega_m t + b \cos n\Omega_m t.$$

Si l'on détermine les valeurs de a et b de manière à ce que l'équation soit satisfaite on arrive à la formule [2]

$$\Omega = \Omega_m - C_0 \Omega_m \frac{\left(nJ\Omega^2_m - \frac{C_s}{n}\right) \sin n\Omega_m t + C_a \cos n\Omega_m t}{C_a^2 + \left(nJ\Omega^2_m - \frac{C_s}{n}\right)^2}, \quad (1)$$

(1) Le couple résistant se compose :

1° D'un terme constant égal à C_m puisqu'on suppose le régime établi ;

2° D'un terme dû aux réactions électrodynamiques de l'alternateur et proportionnel à l'écart angulaire :

$$C \int^t (\Omega - \Omega_m)\, dt ;$$

3° D'un terme dû à l'amortissement et proportionnel à la différence de vitesse entre l'alternateur et un alternateur idéal figurant le réseau, autrement dit proportionnel au glissement de l'inducteur par rapport au champ de l'induit :

$$C_a \frac{\Omega - \Omega_m}{\Omega_m} ;$$

4° De l'effort d'inertie dû au volant :

$$J \frac{d\Omega}{dt},$$

J étant le moment d'inertie de toute la partie tournante.

(2) Cette formule est identique à celle obtenue dans l'étude de la synchronisation d'un courant par une force électromotrice alternative, dans un circuit contenant de la résistance, de la la self-induction et de la capacité, en remarquant qu'ici :

L'inertie joue le rôle de la self-induction ;

Le couple de l'alternateur (que nous appelons ordinairement couple synchronisant) joue le rôle de la capacité ;

L'amortissement joue le rôle de la résistance.

Ce résultat a été prévu par M. Cornu dans son travail

et par intégration à l'expression de l'écart angulaire θ_c du groupe couplé

$$\theta_c = \frac{C_0}{\sqrt{n^2 C_a^2 + (n^2 J \Omega_m^2 - C_s)^2}} \qquad (2)$$

Cette formule montre que l'écart angulaire du groupe couplé est totalement différente de celui du groupe isolé, car dans ce dernier cas (où $C_a = 0$ et $C_s = 0$) on a

$$\theta = \frac{C_0}{n^2 J \Omega_m^2} \qquad (3)$$

Elle montre de plus que si l'amortissement est nul, c'est-à-dire si C_a est nul, la valeur de l'écart angulaire

$$\theta_c = \frac{C_0}{n^2 J \Omega_m^2 - C_s} \qquad (4)$$

est *plus grande* que celle de l'écart angulaire du groupe isolé, puisque le dénominateur est diminué de la quantité C_s. On croyait généralement le contraire [1].

Si l'on fait le rapport σ des valeurs (4) et (3)

---

sur la synchronisation électromagnétique au chapitre de l'*extension du mécanisme de la synchronisation à des phénomènes entièrement divers*.

[1] M. Boucherot fait à ce propos les remarques suivantes :

Comme, les alternateurs en parallèle ont une tendance naturelle (par influence de C_s que nous appelons, justement pour cela, le couple synchronisant) à se remettre toujours en coïncidence de phases, il était naturel que chacun s'imagine que cette influence du couple synchronisant est régulatrice, tend à diminuer l'écart angulaire dû aux coups de piston. Cette croyance était tellement solide que M. Blondel lui-même, dans son étude sur le couplage des alternateurs (*Bulletin de la Société*, année 1893, p. 147), rappelle que, dans tout système élastique, l'inertie et l'élasticité produisent des effets opposés, mais n'en conclut pas moins, quelques lignes plus loin, que c'est le couple synchronisant qui limite les oscillations alors qu'au contraire il les amplifie.

» L'influence du couple synchronisant est donc tout à fait différente selon qu'il s'agit d'impulsions passagères imprimées à l'alternateur ou d'impulsions périodiques; dans le premier cas, le couple synchronisant ramène l'alternateur en concordance de phase avec le réseau d'autant plus énergiquement que ce couple est plus fort, c'est-à-dire que la réaction de l'alternateur est plus petite; dans le second cas, les amplitudes des oscillations imprimées par les impulsions à l'alternateur, sont d'autant plus augmentées que le couple synchronisant est plus fort, c'est-à-dire que la réaction de l'alternateur est plus petite.

» Il est, d'ailleurs, très facile de comprendre le mécanisme de cette amplification des oscillations dues aux coups de piston.

» Soit (fig. *a*) une machine monocylindrique, idéale, c'est-à-dire dont l'expression du couple ne contient que le terme principal de la série de Fourié en $2\Omega_m$; A, un point du volant tournant dans le sens de la flèche, pris dans le prolongement de la manivelle. La partie variable du couple moteur est : maxima et positive, lorsque A est dans la position 1 ou dans la position 5; maxima et négative, lorsque A est dans la position 3 ou dans la position 7.

» La vitesse étant l'intégrale du couple, la partie variable de la vitesse est en retard d'un quart de période,

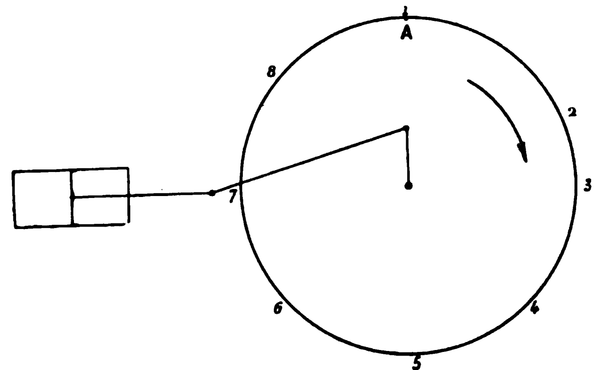


Fig. *a*.

soit 1/8 de tour, sur celle du couple moteur; elle est donc : maxima et positive, lorsque A est en 2 et 6 ; maxima et négative, lorsque A est en 4 et 8;

» L'espace parcouru étant l'intégrale de la vitesse, la partie variable de l'espace parcouru, l'écart angulaire, est encore en retard de 1/8 de tour sur la partie variable de la vitesse; il est donc : maximum et positif, lorsque A est en 3 et 7; maximum et négatif, lorsque A est en 5 et 1.

» Comme le couple synchronisant est proportionnel à l'écart angulaire et tend à annuler celui-ci, il en résulte que A est en 3, par exemple, le couple synchronisant tend à ramener le volant en arrière, ***de même que la partie variable du couple moteur***. Le couple synchronisant ***ajoute*** donc continuellement son action à l'action perturbatrice, tant que l'on suppose le régime établi.

» Il faut donc bien le signe — dans les formules (2) et (4).

» Une autre considération va confirmer cette opinion.

» De la formule (4) il résulte que, sans amortissement, l'écart angulaire devient infini pour

$$(5) \qquad C_s = n^2 J \Omega_m^2.$$

Cette valeur singulière doit très probablement correspondre à la résonance.

» En effet, j'ai indiqué, en 1892 (*Lum. Élect.*, t. XLV, p. 201 et 260, 30 juillet et 3 août), la valeur du temps

on a une expression indépendante de la partie

---

périodique d'oscillation naturelle de l'alternateur qui, sous une forme légèrement simplifiée, c'est-à-dire en négligeant les résistances intérieures des induits, peut s'écrire

(6) $$T = 2\pi \frac{N}{60}\sqrt{\frac{2\pi J}{fkP_n}},$$

dans laquelle :
N est le nombre de tours par minute de l'alternateur,
J le moment d'inertie en kilogrammes-masse mètres carrés,
f la fréquence en périodes par seconde,
P_n la puissance normale de l'alternateur, en kilogrammètres par seconde,
k le rapport du courant de court-circuit au courant normal en charge.

C'est la valeur de T lorsque l'alternateur est à vide ; en charge, cette valeur est un peu différente.

» Si dans cette formule nous remplaçons certains symboles par leur valeur

$$N = \frac{60\,\Omega_m}{2\pi},$$
$$P_n = C_n\,\Omega_m,$$
$$k = \frac{C_s}{C_n p} \quad [p, \text{ nombre de paires de pôles}].$$
$$p = f\frac{60}{N},$$

et

$$C_s = n^2 J\Omega_m^2;$$

il vient

$$T = \frac{2\pi}{n\Omega_m} = \tau,$$

τ, temps périodique de la partie variable du couple moteur. La condition $C_s = n^2 J\Omega_m^2$ correspond donc bien à la résonance.

» Une parenthèse n'est pas inutile à ouvrir ici, M. Kapp (*Elektrotechnische Zeitschrift*, février 1897), croit que l'égalité du temps périodique d'oscillation naturelle T de l'alternateur, et du temps périodique τ de la perturbation, n'est pas seule à éviter pour un bon couplage; il croit que lorsque T est égal à 3τ, 5τ,..., $\frac{\tau}{3}$, $\frac{\tau}{5}$,..., on peut avoir un mauvais couplage, qui, au contraire, peut être bon quand T est égal à 2τ, 4τ, ..., $\frac{\tau}{2}$, $\frac{\tau}{4}$, ...

» Les formules ne peuvent pas indiquer un tel résultat, je crois, car il me semble impossible de satisfaire à l'équation (1) si l'on veut donner à Ω une autre forme que celle obtenue, je veux dire de pulsation différente. D'autre part, par analogie, en plaçant dans un circuit électrique comprenant self-induction, capacité et résistance, et ajusté pour une fréquence a, une force électromotrice de fréquence b, on n'a jamais obtenu qu'un courant de fréquence b et non de fréquence a.

» On peut, il est vrai, obtenir des courants de fréquence a par des charges ou décharges intermittentes, mais dans ce cas, la force électromotrice appliquée est discontinue, ce qui n'est pas le cas du couple moteur d'une machine à vapeur. Evidemment il peut y avoir dans l'expression générale d'un couple moteur de période τ des harmoniques de périodes 2τ, 3τ, ..., et si l'une de ces périodes est égale à T, il peut y avoir résonance pour celle-là, mais je crois que ce n'est pas ce qu'a voulu dire M. Kapp, car, si cela était possible et c'est en tout cas très difficile à réaliser pratiquement ainsi que nous verrons plus loin, cela pourrait tout aussi bien arriver pour les harmoniques de rang pair que pour celles de rang impair. »

variable C_0 du couple moteur et que l'on peut écrire

$$\sigma = \frac{\frac{1}{2}J\Omega^2_m}{\frac{1}{2}J\Omega^2_m - \frac{C_s}{2n^2}} \qquad (5)$$

Or $\frac{1}{2}J\,\Omega_m^2$ est la demi-force vive W emmagasinée dans le volant, et $\frac{C_s}{2n^2}$ est la valeur W_2 que prend cette demi force vive emmagasinée quand il y a résonance (voir note 3), on peut donc écrire

$$\sigma = \frac{W}{W - W_2} \qquad (7)$$

où

$$W_2 = \frac{C_s}{2n^2} = \frac{P_n pk}{2n^2\Omega_m} \qquad (8)$$

La courbe I de la figure 1 traduit graphiquement la relation (7) pour les valeurs de W plus grandes que W_2, les autres n'ayant pas d'intérêt ici ; on voit que σ diminue rapidement quand on s'éloigne de la résonance ; pour $W = 2W_2$ par exemple, σ tombe à 2 et tend vers 1 pour un volant infini. On pourra donc, en prenant un volant suffisant, toujours faire en sorte que l'écart angulaire d'un alternateur couplé ne diffère que peut de l'écart angulaire du même groupe isolé. La force vive W à emmagasiner pour la valeur particulière σ ainsi fixée sera d'ailleurs facile à calculer par la formule (7) car la valeur de W_2 est elle-même facile à calculer par la formule (8).

M. Boucherot fait remarquer que le quotient

$$\frac{W}{P_n} = \frac{\sigma}{\sigma - 1}\,\frac{pk}{2n^2\Omega_m} = \frac{\sigma}{\sigma - 1}\,\frac{fk}{2n^2}\,\frac{2n}{\Omega^2_m}, \qquad (9)$$

où P_n est la puissance de l'alternateur et f sa fréquence, n'est autre que la *durée d'emmagasinement du volant ;* on conçoit alors immédiatement qu'il y a intérêt pour la régularité du

mouvement à avoir une valeur aussi faible que possible de ce quotient. Or si l'on dresse le tableau de ses valeurs pour $\sigma = 1$ et $\sigma = 1,1$, pour différents types d'alternateurs et pour $n = 2$ (machine monocylindrique dont on néglige les harmoniques), on trouve

	Durée d'emmagasinement $\sigma = 2$.	Durée d'emmagasinement $\sigma = 1,1$.
Fréq. 50, 60 t. p. m. grande réaction ($k = 1$)	2	11
» 50, 60 » faible réaction ($k = 4$)	8	44
» 50,120 » grande réaction ($k = 1$)	0,50	2,75
» 50,120 » faible réaction ($k = 4$)	2	11
» 25, 60 » grande réaction ($k = 1$)	1	5,50
» 25, 60 » faible réaction ($k = 4$)	4	22
» 25,120 » grande réaction ($k = 1$)	0,25	1,37
» 25,120 » faible réaction ($k = 4$)	1	5,50

On remarque, dans ce tableau, l'influence considérable de la vitesse sur la durée d'emmagasinement correspondant à une valeur déterminée de σ ; la durée d'emmagasinement est inversement proportionnelle au carré de la vitesse, toutes choses égales d'ailleurs ; nous avons donc intérêt à adopter de grandes vitesses angulaires.

Une autre remarque découle de la formule (7) : c'est que σ pouvant devenir infini dans certaines conditions, il ne suffit pas qu'une machine à vapeur ait isolément un faible écart angulaire maximum pour que l'alternateur qu'elle conduit puisse être accouplé en parallèle [1].

M. Boucherot examine alors le cas où il y a amortissement et où par suite l'écart angulaire est donné par la formule (2). Voici ce qu'il dit à ce sujet :

« L'amortissement le plus énergique est ob-

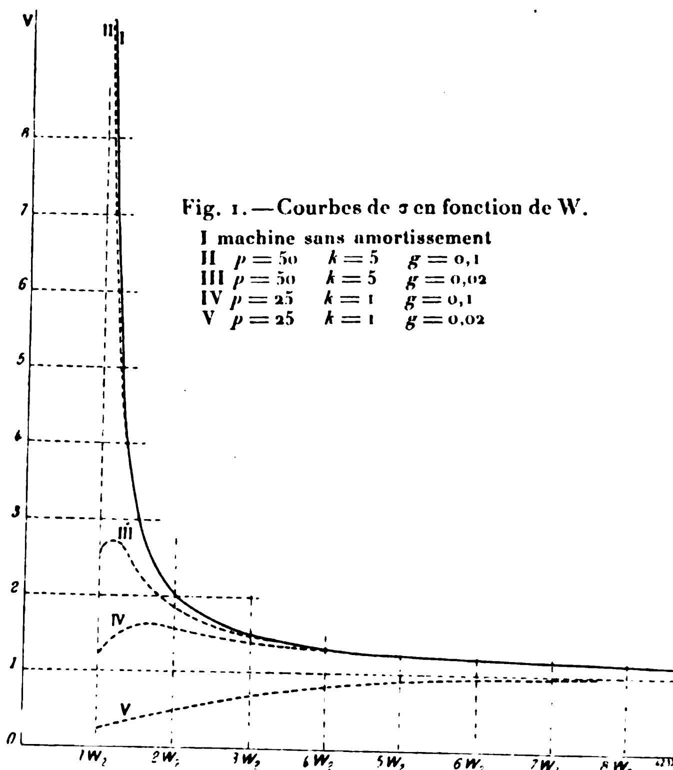


Fig. 1. — Courbes de σ en fonction de W.
I machine sans amortissement
II $p = 50$ $k = 5$ $g = 0,1$
III $p = 50$ $k = 5$ $g = 0,02$
IV $p = 25$ $k = 1$ $g = 0,1$
V $p = 25$ $k = 1$ $g = 0,02$

tenu au moyen de l'artifice de M. Leblanc, connu sous le nom d'*amortisseur*, et qui peut être envisagé très simplement, suivant l'auteur lui-même, comme la superposition d'une machine asyn-

(1) M. Boucherot le montre par l'exemple suivant :

« Soit un groupe électrogène formé d'une machine à vapeur monocylindrique pour laquelle nous supposerons négligeables tous les termes de la série de Fourier autres que celui de $2\Omega_m$. Et supposons que l'écart angulaire maximum θ du groupe isolé soit 3/100, soit 0°19, ce qui correspond à une régularité de 150 environ. Si nous admettons que la vitesse soit de 60 tours par minute et la fréquence 50, l'écart dans la période du courant sera de 9°,5 ; ce qui semblera très rassurant surtout à ceux qui pensent que l'on peut aller jusqu'à 45°, ce que je ne crois pas. Si nous couplons ce groupe, σ peut prendre des valeurs comprises entre 1,26 pour $k = 1$ (grande réaction) et l'infini pour $k = 4.8$ (petite réaction) :

k	σ.
1	1,26
2	1,71
3	2,66
4	6
4.2	8
4,4	12
4,6	24
4.8	∞

» De sorte que les résultats obtenus seront très différents suivant le type d'alternateur adopté et aussi suivant le type de machine à vapeur. Pour k plus grand que 4.4, il est à peu près certain qu'aucun couplage ne sera réalisable à quelque charge que ce soit ; mais pour k plus petit que 4.4, il pourra y avoir des charges pour lesquelles le couplage sera possible ; ce fait se produira à vide pour une machine à vapeur ayant des pièces en mouvement alternatif légères et à mi-charge si ces pièces sont lourdes. J'ai tracé (fig. *b*) l'allure de l'écart angulaire dans les deux cas, en fonction de la charge, et, d'autre part, des droites horizontales correspondant à différentes valeurs de k. Pour toute la portion des courbes située au-dessus d'une de ces droites, le décalage est supérieur à 20°, c'est-à-dire que le couplage commence à être mauvais. Si l'on remarque encore que k est variable avec l'excitation de l'alternateur, on voit que, pour une machine se trouvant dans le voisinage de la

chrone à l'alternateur synchrone. On pourra donc très simplement définir le coefficient C_a par le glissement g de cette machine asynchrone en posant

$$C_a = \frac{C_n}{g} = \frac{P_n}{g\Omega_m}.$$

La valeur de σ devient donc

$$(10) \qquad \sigma = \frac{\theta_e}{\theta} = \frac{W}{\sqrt{\left(\frac{P_n}{2ng\Omega_m}\right)^2 + (W - W_2)^2}}.$$

» En remarquant que l'on peut éliminer P_n en remplaçant $\frac{P_n}{2ng\Omega_m}$ par $\frac{nW_2}{pkg}$, on peut tracer de nouvelles courbes de σ en fonction de W. C'est ce que j'ai fait (fig. *a*) dans l'hypothèse d'un amortissement très énergique, en donnant à g la valeur 0,02 qui est certainement la plus petite que l'on puisse obtenir dans ce cas (les plus gros moteurs à champ tournant ayant 1,5 p. 100 de glissement); et dans l'hypothèse de l'amortissement obtenu sans artifices spéciaux, par l'emploi de pôles pleins, par la présence des bobines inductrices, etc., et pour lequel j'ai admis la valeur $g = 0,1$. On peut tirer de ces courbes les éclaircissements suivants :

» 1° C'est surtout dans le voisinage de la résonance que l'amortissement se fait sentir utilement;

» 2° Le même taux d'amortissement $g = 0,02$ qui, sur certains alternateurs (grande vitesse, grande réaction), produit un effet très énergique en abaissant σ à 0,25, n'abaisse σ qu'à 2,5 pour d'autres (petite vitesse, faible réaction);

3° Avec certains alternateurs, grande vitesse, grande réaction ayant un amortissement énergique, l'augmentation du volant a pour effet d'*augmenter* σ, ce qui s'explique par cette considération que les deux actions sont en quadrature.

» Enfin, l'on peut se demander, à titre de curiosité, quelle force vive doit être substituée à l'amortissement le plus énergique pour obtenir le même écart angulaire θ_c, en supposant que l'on n'ait pas d'amortissement du tout.

» Comme c'est au point de résonance que l'effet de l'amortissement est le plus sensible, c'est pour ce point que la force vive additionnelle sera la plus grande. Soit W_1 la force vive nouvelle donnant le même écart angulaire qu'une force vive W_2 avec un amortissement défini par $g = 0,02$. La force vive additionnelle équivalente à l'amortissement sera $W_1 - W_2$. Or, en égalisant les deux valeurs de θ_c, on arrive à une formule très simple

$$W_1 - W_2 = \frac{P_n}{2ng\Omega_m}.$$

» Pour une machine monocylindrique (en s'en tenant toujours au terme en $2\Omega_m$), $n = 2$, et c'est le cas le plus favorable à l'amortissement, n figurant au dénominateur et étant plus grand pour les machines polycylindriques. On voit alors que, pour avoir l'équivalent d'un amortissement très énergique, il faut une force vive supplémentaire de 150 kgm par cheval pour les machines à 60 tours par minute et de 75 kgm par cheval, pour les machines à 120 tours par minute.

» Avec les vitesses linéaires de volants admis actuellement, cela correspond à environ 2,5 kg à 5 kg de fonte par cheval. »

Dans une dernière partie, M. Boucherot recherche quelle est l'influence des termes en Ω_{3m}, Ω_{4m}, etc., ainsi que du terme en Ω_m, négligés dans les considérations précédentes. Il montre

---

zone dangereuse, il peut suffire quelquefois d'une mauvaise manœuvre de l'électricien pour provoquer momentanément une mauvaise marche. »

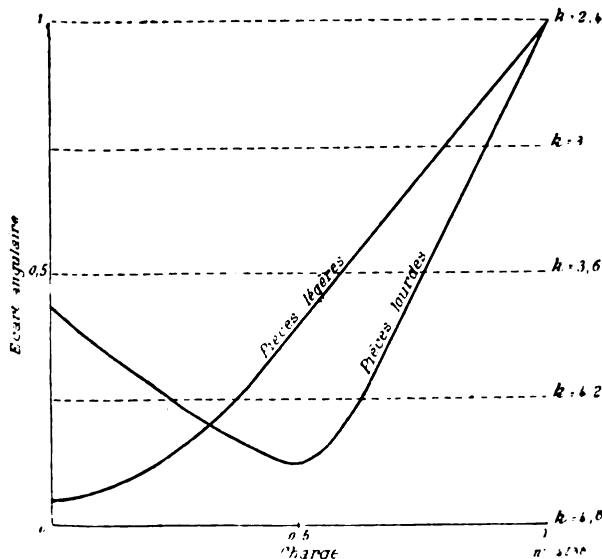


Fig. *b*.

que les premiers n'ont pas beaucoup d'influence [1], mais que le terme en Ω_m peut avoir une importance considérable.

« Ce terme qui, comme tous ceux de rang impair, provient de l'obliquité de la bielle sur la tige du piston, et qui serait nul pour une bielle infinie, a, au premier abord, un air innocent auquel il ne faut pas se fier le moins du monde ; je ne serais pas surpris qu'il ait occasionné des déboires dans bien des circonstances. C'est que, en effet, bien qu'il soit en général petit, puisque dans les machines monocylindriques son coefficient ne dépasse pas $0{,}15\,C_n$, et $0{,}1\,C_n$ dans les machines polycylindriques, il ne faut pas oublier qu'à égalité, pour un groupe isolé, il produit un écart angulaire θ quatre fois plus grand que le terme en $2\Omega_m$, c'est-à-dire un écart angulaire qui peut arriver à être, dans les machines polycylindriques, plus grand que celui occasionné par le terme en $2\Omega_m$. Et comme, d'autre part, la résonance peut se produire plus facilement avec ce terme qu'avec celui en $2\Omega_m$, son importance est considérable.

» En effet, si nous cherchons quelle force vive nous devrions emmagasiner dans le volant pour que σ ne dépasse pas 2 ($W = 2W_2$), nous trouvons :

» Pour un alternateur à 50 périodes et 60 tours par minute :

Si $k = 1$ (grande réaction). 600 kgm par cheval,
$k = 4$ (petite réaction) .. 2400 kgm par cheval.

» Pour un alternateur à 50 périodes et 120 tours par minute :

Si $k = 1$.... 150 kilogrammètres par cheval,
$k = 4$.... 600 » »

» Pour un alternateur à 25 périodes et 120 tours par minute :

Si $k = 1$.... 75 kilogrammètres par cheval,
$k = 4$.... 300 » »

» Ce parallèle est désastreux pour les machines à 60 tours par minute ; il semble qu'il n'y ait que très peu de cas dans lesquels elles puissent se coupler en parallèle, si on ne leur applique pas des volants très lourds ou des amortisseurs énergiques ; et c'est bien ce que la pratique semble avoir consacré. Cependant, il y a encore des circonstances dans lesquelles elles peuvent fonctionner sans volants considérables, car σ peut être négatif. Par exemple, avec une force vive égale au quart de celle trouvée cidessus, soit $\frac{W_2}{2}$, σ est égal à -2, le fonctionnement est donc possible et il a pu se produire dans ces conditions ; mais il doit être délicat, car comme σ est égal à -2 pour le terme en Ω_m et $+2$ pour le terme en $2\Omega_m$, il suffit de peu de chose, par exemple une excitation mal réglée momentanément, ce qui change k, pour que, d'un côté ou de l'autre, σ prenne une grande valeur, positive ou négative. (Pour se rendre bien compte de cela, il suffit de prolonger à gauche les courbes de la figure *b* en donnant à W des valeurs comprises entre W_2 et 0). Si l'on veut bien considérer encore que la valeur de k placée dans toutes ces formules est sujette à certaines variations avec la charge, d'autant plus grandes que la réaction est plus grande, on se rendra compte qu'il est très imprudent de compter sur un fonctionnement sérieux avec un σ négatif pous le terme en Δ_m, et uu σ positif pour le terme en $2\Delta_m$. »

En dernier lieu M. Boucherot s'occupe du cas de deux alternateurs en parallèle.

« Je ne dirai que quelques mots, écrit-il, de ce cas particulier qui est en quelque sorte l'opposé du cas extrême où le réseau est supposé infini. Tout les autres cas peuvent se placer entre les deux.

» Le résultat dépend alors absolument du décalage des manivelles, l'une par rapport à

(1) La force vive correspondant à la résonance W_2 (8) est inversement proportionnelle au carré de n. Il en résulte que σ décroît très vite pour les termes $3\Omega_m$, $4\Omega_m$, etc.

Comme d'autre part l'écart angulaire θ du groupe isolé est inversement proportionnel au carré de n, il en résulte que, si l'on prend comme terme de comparaison le terme en $2\Omega_m$, on obtient les résultats comparables suivants, *en admettunt les mêmes coefficients* pour tous les termes de la série de Fourier représentative *du couple* (les indices correspondent aux rangs des termes dans la série).

$\sigma_2 = 2.$	$\sigma_2\theta_2 = 2\theta_2.$	$\sigma_2 = 11.$	$\sigma_2\theta_2 = 11\theta_2.$
$\sigma_3 = 1{,}3$	$\sigma_3\theta_3 = 0{,}58\theta_2$	$\sigma_3 = 1{,}66$	$\sigma_3\theta_3 = 0{,}74\theta_2$
$\sigma_4 = 1{,}14$	$\sigma_4\theta_4 = 0{,}28\theta_2$	$\sigma_4 = 1{,}3$	$\sigma_4\theta_4 = 0{,}32\theta_2$
$\sigma_5 = 1{,}09$	$\sigma_5\theta_5 = 0{,}175\theta_2$	$\sigma_5 = 1{,}17$	$\sigma_5\theta_5 = 0{,}19\theta_2$

On voit que, même dans les machines polycylindriques qui comportent des termes en $2\Omega_m$, $3\Omega_m$, $4\Omega_m$ de même importance, c'est surtout celui de $2\Omega_m$ qu'il convient d'examiner. Si cet examen donne un résultat satisfaisant (faible $\sigma\theta$) on peut être tranquille en ce qui concerne les termes suivants.

l'autre. Ce calage peut mettre hors de cause l'un ou l'autre des termes de la série de Fourier représentative du couple. Par exemple :

» Si les manivelles des deux machines coïncident, les deux alternateurs sont comme s'ils étaient seuls.

» Si les manivelles sont à 180°, c'est le terme en Ω_m qui est le plus dangereux, puis ceux en $3\,\Omega_m$, etc.. Les termes pairs sont supprimés.

» Si les manivelles sont à 90°, le terme en Ω_m est encore le plus dangereux ; quoique réduit aux $\frac{7}{10}$ de ce qu'il était dans le cas précédent, il n'en subsiste pas moins ; le terme en $2\,\Omega_m$ est aussi très dangereux.

» Dans tous les cas, le calcul de σ pour chaque terme peut se faire absolument comme dans le cas précédent, et sa formule reste la même lorsqu'il n'y a pas d'amortissement. Seul l'angle θ, ou plutôt $\theta_1 + \theta_2$, est changé ; pour un terme particulier de la série :

$\theta_1 + \theta_2$ est double de θ, si le décalage, pour ce terme, est de 180°.

$\theta_1 + \theta_2 = \sqrt{2}\,\theta$, si le décalage est de 90°.

. . . .

» Il convient alors d'examiner les valeurs de $\sigma\theta$ ainsi obtenues pour chacun des termes de la série dans les hypothèses de manivelles placées à 180°, 90°, etc.. »

Conclusion. — En terminant, M. Boucherot fait remarquer « combien la question, qui paraît et qui est en effet très complexe au premier abord, peut se simplifier par l'analyse et se ramener à peu de chose : l'examen de la valeur de σ pour chacun des termes de la série de Fourier (¹).

Contrairement à l'opinion émise par M. le Dr Benischke à l'occasion du calcul de la période d'oscillation d'un alternateur, qu'il considère comme impossible, il pense que tous ces calculs peuvent être faits, non pas avec une grande exactitude, ce serait trop demander, mais avec une approximation suffisante pour que l'on puisse être rassuré d'avance sur le résultat.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 25 octobre 1901.

Cette séance, présidée par M. Steinmetz, a été entièrement consacrée à l'étude de la question de l'irrégularité du mouvement des machines motrices primaires et à l'influence de cette irrégularité sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs commandés par ces machines. Six communications ont été faites sur ces sujets.

Considérations générales sur la régulation des moteurs primaires et le couplage en parallèle des alternateurs, par Charles P. Steinmetz.

Dans cette communication, le président de l'Institut rappelle succinctement l'état actuel de la question. Elle n'a pas encore été publiée dans les *Transactions ;* nous donnons ci-dessous (¹)

(¹) Exemple d'application à la machine Dujardin de 1500 HP indiqués à 75 tours par minute, dont il a été parlé plus haut, en supposant qu'elle actionne un alternateur à 50 périodes (80 pôles) et faible réaction ($k = 4$).

Énergie totale W emmagasinée dans le volant : 1 275 000kgm.

Application pour la charge de 1 500 HP indiqués.

Le constructeur indique :

Accélération..... $R = 427$, $\theta = 0°,067$,

Ralentissenent... $R = 540$, $\theta = 0°,059$.

$\Omega_m = 7,85$, $C_m = 14\,300$.

L'analyse complète donne, en se servant des formules (3), (7) et (8) :

n.	C_0.	θ.	σ.	$\sigma\theta$.	$p\theta\sigma$.
		°		°	°
1	1600	0,036	9,4	0,34	13,6
2	3150	0,018	1,29	0,023	0,92
3	2230	0,0055	1,11	0,0061	0,24
4	4100	0,0056	1,06	0,006	0,24
5	370	0,00033	1,03	0,00034	0,014

En changeant la réaction et la fréquence, le premier terme est modifié ainsi que suit :

Même réaction, fréquence 25...... $\sigma = 1,8$, $\sigma\theta = 0°,065$, $p\theta\sigma = 1°,3$,

Même fréquence 50, réaction faible ($k = 1$)........... $\sigma = 1,3$, $\sigma\theta = 0°,047$, $p\theta\sigma = 1°,9$.

(¹) I. Examinant la régulation de la vitesse des moteurs primaires accouplés à des alternateurs au point de vue de son influence sur le fonctionnement en parallèle de ces derniers, M. Steinmetz fait remarquer que trois principaux facteurs viennent en jeu dans l'ordre suivant : 1° la variation permanente de la vitesse due à une variation de la charge ; 2° la variation temporaire de la vitesse due à une variation subite de la charge ; 3° la variation périodique de la vitesse pendant chaque tour.

1. Quand la charge d'un alternateur varie, la quantité d'énergie fournie au moteur à vapeur doit également varier dans une proportion correspondante ; ceci s'ob-

la traduction littérale du compte rendu qu'en a publié *Electrical World and Engineer* du 2 novembre.

---

tient à l'aide d'un mécanisme de régulation dont le fonctionnement dépend soit de la vitesse (régulateur de vitesse), soit de l'accélération de cette dernière (régulateur d'inertie).

La vitesse d'un moteur se trouve ainsi être une fonction de la charge qui généralement décroît plus ou moins avec l'accroissement de cette dernière.

Comme des alternateurs fonctionnant en parallèle doivent tourner synchroniquement entre eux, — ainsi d'ailleurs, que les moteurs qui les entraînent, — il s'en suit que la division de la charge entre des alternateurs mus par des moteurs indépendants est subordonnée à la division de l'énergie entre les moteurs à inégalité de vitesse et non aux caractéristiques de l'alternateur.

Ainsi, elle ne pourrait être modifiée par une variation dans l'excitation de l'alternateur, etc., mais seulement par une réaction agissant sur le régulateur (ou par une modification de la tension de la courroie reliant l'alternateur au moteur).

Pour ces raisons, un certain ralentissement de la vitesse lors de l'augmentation de la charge est nécessaire pour le fonctionnement en parallèle des alternateurs, et avec un mécanisme de régulation maintenant une vitesse absolument constante sous toutes les charges, la division de la charge devient indéterminée et le fonctionnement en parallèle cesse d'être réalisable.

Si la décroissance de la vitesse avec l'augmentation de la charge n'est pas uniforme, que la vittsse soit par exemple presque constante avec une charge moyenne, les alternateurs pourront fonctionner en parallèle d'une façon satisfaisante, lors de la pleine charge, mais, par contre, leur parallélisme sera très défectueux sous une faible charge.

2. Lors d'une soudaine variation de la charge, il faut un certain temps au régulateur pour agir sur la puissance développée par ce moteur à vapeur et l'amener à correspondre à la charge modifiée ; il se produit alors une variation temporaire de la vitesse plus grande que celle correspondant à la variation de la charge ; il est donc nécessaire, pour la réduire, de créer une réserve d'énergie dans le volant. Dans les machines à vapeur, la force vive de la vapeur, fluide expansif, est généralement négligeable dans ses effets. Dans les machines hydrauliques, il arrive fréquemment que la force vive de la masse d'eau en circulation prédomine par suite de la variation de la vitesse lors d'une modification subite de la charge et cette variation est ainsi subordonnée à la force vive de la masse entière de l'eau en mouvement. Les conduites auxiliaires, les vannes automatiques et les lances à becs de déviation représentent autant de moyens de réduire ou d'éliminer l'effet de la force vive de la colonne d'eau en circulation sur la régulation de la vitesse lors d'une variation subite de la charge.

3. La plupart des moteurs rotatifs, tels que roues hydrauliques, turbines à vapeur, etc., fournissent à chaque instant la même puissance ; il s'ensuit que, sous charge constante, la vitesse est uniforme pendant la

Comme on le verra par la lecture de cette tra-

---

durée d'un tour. D'autres moteurs, tels que les machines à double effet, à vapeur ou à gaz, fournissent de l'énergie par un certain nombre d'impulsions ; le couple moteur et, par suite, la vitesse, varient donc périodiquement pendant la révolution. Le couple résultant dépend du couple de pulsation de la source d'énergie (diagramme de l'indicateur), du couple alternatif dû à l'accélération positive ou négative des masses en mouvement, du couple également alternatif des tiges de connexion ; dans les machines verticales, il comprend également le couple dû à la pesanteur des masses dans les mouvements de montée et de descente, et enfin, dans les moteurs à gaz, il y a lieu de tenir compte du couple pulsatif et négatif résultant de la compression. Les variations de vitesse résultant de ces causes peuvent être réduites soit en calculant le moteur de manière que les différentes composantes du couple donnent lieu à un couple presque constant, soit encore en employant un lourd volant. L'inconvénient le plus grave de cette variation périodique de la vitesse est sans contredit le « pompage » des alternateurs et machines synchrones (tant moteurs que convertisseurs), et cette tendance au pompage parait être encore augmentée du fait de l'adaptation d'un lourd volant au moteur.

II. Les moteurs électriques ne sont pas considérés ordinairement comme machines primaires ; cependant il semble n'y avoir aucune raison pour faire une distinction entre une transmission d'énergie par une conduite d'eau et une autre par des conducteurs électriques. Dans les moteurs électriques donc, les organes mobiles possédant une vitesse de rotation uniforme, il ne se produit, en conséquence, aucune variation périodique de la vitesse, et du fait que la durée du réglage de la vitesse est pratiquement nulle, il n'y a pas non plus de variations temporaires lors des changements brusques de la charge. Avec des moteurs shunt à courant continu, il serait peut-être nécessaire de les munir d'un enroulement en série pour le fonctionnement en parallèle des alternateurs afin de réaliser le décroissement nécessaire de la vitesse lors de l'augmentation de la charge.

Avec des moteurs à induction, bien que la variation de leur vitesse entre la marche à vide et la pleine charge soit considérablement moindre que celle regardée comme nécessaire pour un bon fonctionnement en parallèle des alternateurs, les variations de la vitesse avec la charge sont si uniformes qu'elles ne donnent lieu à aucune difficulté. Dans la marche en parallèle d'alternateurs entraînés par des moteurs synchrones, la vitesse étant d'une constance absolue sous toute charge, il se produit toute une série de phénomènes entièrement différents des précédents. Ils ont, il est vrai, quelque analogie avec ceux que l'on constate avec des alternateurs à couplages rigides avec leurs moteurs, mais ils en diffèrent toutefois par l'espèce d' « élasticité » que présente la marche des moteurs synchrones, même avec une fréquence invariable.

III. Les difficultés qui s'opposent à la bonne marche en parallèle d'alternateurs mus par des moteurs primaires séparés peuvent naitre :

1° Du manque de pouvoir synchronisant provenant

duction, M. Steinmetz examine d'abord les conditions qui peuvent influer sur la marche en parallèle des alternateurs commandés par des moteurs primaires : changement permanent de la vitesse résultant du passage de la charge d'une valeur à une autre; variations de vitesse périodiques et rapides qui prennent naissance lorsque, la variation de la charge étant brusque, la machine passe de la vitesse de régime correspondant à sa charge primitive à celle qui correspond à sa nouvelle charge ; enfin, variations de vitesse périodiques ayant lieu pendant la durée d'un tour du moteur.

Dans une seconde partie, il examine le cas, se rencontrant assez rarement en pratique jusqu'ici, où les alternateurs devant être accouplés en parallèle sont commandés par des moteurs électriques.

Il termine en résumant les causes des difficultés que l'on peut rencontrer dans l'accouplement en parallèle d'alternateurs commandés par des moteurs indépendants.

Sur le fonctionnement en parallèle des alternateurs à accouplement direct, par **W.-L. R. Emmett.**

De même que la précédente, cette communication n'a pas encore été publiée dans les *Transactions* de l'Institut. Nous donnons ci-dessous la traduction littérale du compte rendu qui en a été publié dans *Electrical World and Engineer* du 2 novembre [1]. Il résulte de ce compte rendu

---

d'une réaction excessive de l'armature, ce qui pratiquement ne se produit pas dans les alternateurs modernes, lesquels ont toujours plus de pouvoir synchronisant qu'il n'en faut pour leur marche en parallèle.

2° Le « pompage » entre alternateurs. Il y a lieu, dans ce cas, de faire une distinction entre le pompage ordinaire inévitable et le pompage cumulatif ou résonant. Avec des moteurs primaires dont la vitesse varie périodiquement pendant la durée d'une révolution, il s'établit un courant à variations périodiques entre alternateurs, entre alternateurs et moteurs synchrones, dans certains cas même entre alternateur et moteur d'induction, variations dont l'amplitude dépend de la variation de la vitesse.

Sous certaines conditions, ce pompage devient cumulatif avec une amplitude qui augmente graduellement, ce qui peut amener la rupture du synchronisme. On peut attribuer la cause de cet effet cumulatif soit à certaines relations existant entre le couple de la masse en mouvement et les constantes électriques du circuit, soit encore à la construction mécanique des moteurs primaires, et, particulièrement, de leurs régulateurs. Quant il est dû à la première de ces causes, il peut se produire quelle que soit la nature du moteur primaire, turbines ou moteurs synchrones par exemple; mais s'il provient du fonctionnement des appareils de régulation, ainsi que c'est le cas le plus fréquent, c'est dans les installations à alternateurs accouplés directement à des moteurs à vapeur qu'on le constatera.

L. D.

---

[1] Après avoir exposé quelques-uns des procédés proposés pour faciliter le fonctionnement en parallèle des alternateurs et fait connaître son opinion personnelle sur les inconvénients qu'ils présentent, M. Emmett décrit un procédé très efficace qui consiste à amortir les mouvements du régulateur occasionnés par les variations de vitesse de la machine.

Le dispositif utilisé à cet effet et que M. Emmet a perfectionné avec la collaboration de MM. H. W. Buck et Harte Cook est représenté en figure 1.

La tige du piston de l'appareil est reliée aux poids du régulateur de façon à être mue directement par eux. Le cylindre et toutes les cavités sont remplis de graisse lourde. Des canaux *f* sont ménagés de chaque côté pour permettre le passage de la graisse d'un compartiment à l'autre du cylindre. Dans chacun d'eux, la circulation de la graisse est réglée par de petites valves à piston *c* pourvues de ressorts à boudin *g* et de petits « by pass » *b*. Les ressorts, agissant constamment sur les soupapes, maintiennent l'obturation des canaux *f*, et par suite, le piston se trouve bloqué jusqu'à ce que la pression ait fait fonctionner l'une des valves *c*. La vitesse de déplacement du piston est ainsi limitée au début par l'exiguité des canaux *b*, tandis qu'ensuite, lorsque la valve a fonctionné, cette vitesse n'est limitée que par la section des canaux *f*. On se rend facilement compte que cet amortisseur peut être réglé de manière à agir comme un verrou temporaire sur le mécanisme de régulation, rendant à celui-ci son entière liberté si son mouvement se maintient pendant un certain temps vers une action régulatrice.

Une première application de ce système d'amortisseur a été faite dans l'usine de la Boston Electric Light Company et on a trouvé dans son emploi un remède efficace aux perturbations; avec un judicieux réglage de cet appareil, on parvint à annihiler les effets d'une variation de la charge, quelque soit le nombre d'appareils marchant en parallèle.

Il faut naturellement que l'appareil soit convenablement construit et qu'il ait une résistance mécanique lui permettant de supporter pendant un certain temps la totalité de l'effort exercé par les poids du régulateur lorsqu'ils se déplacent pour occuper une position nouvelle; en outre, la période de l'effort résistant qu'il exerce doit être telle que le débloquage ne puisse s'opérer dans la durée simple d'une période d'oscillation quand les machines fonctionnent en parallèle. Il est indispensable aussi que l'appareil soit rempli de graisse de façon à ne laisser aucun vide occupé par de l'air, ce qui nuirait à la précision de son fonctionnement. Si ces conditions n'étaient pas strictement remplies, il n'apporterait qu'un remède partiel et même, dans certains cas, serait inutile.

Parlant ensuite de la marche en parallèle des alter-

que l'auteur a obtenu des résultats satisfaisants dans le couplage en parallèle des alternateurs en munissant les régulateurs des machines qui les commandent d'un amortisseur à action énergique.

(*A Suivre*).

nateurs, M. Emmett fait observer que quoiqu'on considère généralement comme nécessaire l'emploi de lourds volants pour obtenir un bon fonctionnement en parallèle, son expérience personnelle lui a permis de constater, qu'au contraire, il était plus facile de l'obtenir

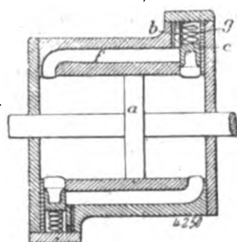


Fig. 1.

avec des générateurs pourvus de volants relativement légers. La fréquence des oscillations propres de ces volants légers étant élevée, les conditions de fonctionnement des moteurs ne permettent généralement pas à ces oscillations de se développer. Il y a lieu néanmoins d'adopter les volants de grandes dimensions pour les alternateurs à couplage direct parce qu'une fréquence constante est toujours désirable dans n'importe quel cas, mais leur emploi, en raison des conditions que nécessite le fonctionnement en parallèle, serait plutôt nuisible dans ce dernier but.

L'action spéciale périodique d'un régulateur de moteur ne se manifeste pas exclusivement dans la marche en parallèle des alternateurs; elle peut aussi donner lieu à des perturbations quand il s'agit d'un seul alternateur dont la charge comprend des appareils synchrones. Cette même action peut également provoquer des troubles dans le fonctionnement en parallèle d'alternateurs alimentant des appareils synchrones. Il est donc nécessaire, dans tous les cas, d'empêcher cette action périodique de se produire et, en atteignant ce but, bien des difficultés seront amoindries ou surmontées.

Au cours de certaines expériences faites à Philadelphie, l'auteur a pu clairement constater le jeu des différentes parties du système entier lorsqu'une oscillation de cette nature se produisait pendant la marche en parallèle d'alternateurs. Les axes des moteurs étant dans le prolongement les uns des autres, on pouvait, à chaque moment, voir la position relative des pièces polaires; celles-ci paraissaient être immobiles lorsque le synchronisme était parfait. Les leviers des régulateurs se trouvaient aussi dans une même ligne de vision, ainsi que les ampèremètres et les voltmètres, de sorte que du même coup d'œil, on pouvait se rendre compte de l'importance d'une variation du déplacement angulaire des pièces polaires, de l'amplitude des mouvements des leviers de régulateurs et des variations de l'intensité et de la tension. L'examen attentif du fonctionnement général permettait de reconnaître que, dans certaines conditions, le mouvement oscillatoire était extrêmement sujet à variations et ne se maintenait que très difficilement. Ainsi, la plus légère modification apportée dans le champ d'un des alternateurs l'altérait au point de le faire disparaître complètement pendant quelque temps; l'oscillation reprenait ensuite peu à peu la même amplitude. Dans d'autres cas, le mouvement oscillatoire se maintenait avec assez de persistance, mais tout indiquait qu'il ne pourrait se maintenir pendant un temps appréciable si le couple moteur fourni par l'action de la vapeur n'était pas variable.

L. D.

ASSOCIATION DE L'INSTITUT MONTEFIORE

Séance du 22 septembre 1901 (¹).

Influence de la flexion des poteaux sur la tension d'une ligne aérienne rompue, par **Q. Colard**. *Bulletin*, 3e série, t. I, p. 338-351.

Soit une ligne aérienne, en alignement droit, composée de poteaux distants de a mètres, comprenant N fils, pesant p kg par mètre courant, tendus à raison de T kg par fil, les fils étant *arrêtés*, c'est-à-dire attachés sans glissement possible, à la tête de chaque poteau. En supposant la flèche des fils assez faible pour assimiler la chainette à une parabole du second degré, on a pour la longueur d'un fil entre deux appuis consécutifs

$$l = a + \frac{a^3p^2}{24\,T^2}. \qquad (1)$$

Si l'une des parties vient à se rompre, les poteaux fléchissent comme l'indique la figure 1;

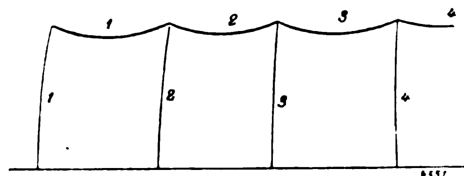


Fig. 1.

les distances a des points d'attache du fil moyen du faisceau diminuent de quantités Δa_1, Δa_2, ... Δa_n; en même temps la tension moyenne du fil

(¹) D'après fascicule 8-9-10, publié le 19 janvier, du *Bulletin des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore*.

descend de T à T_1, T_2 ... T_n; les poteaux sont soumis à des efforts sensiblement horizontaux dirigés vers la droite approximativement égaux à NT_1, $N(T_2 - T_1)$, etc.; enfin les poteaux prennent à la hauteur de l'attache du fil moyen du faisceau des flèches f_1, f_2 ... f_n [1]. Par conséquent, si l'éventualité de la rupture complète d'une portée est à craindre, le poteau doit être calculé de façon à prendre une flèche f_1 sous l'effort NT_1. Il suffit d'ailleurs que le poteau puisse résister à cet effort; en le calculant pour résister à l'effort NT_1 on le ferait trop solide, c'est-à-dire trop lourd et par suite trop coûteux.

L'auteur a indiqué antérieurement [2] une méthode analytique pour résoudre ce problème, mais cette méthode comporte des développements en séries qui cessent de pouvoir être simplifiées quand $T - T_1$ est une fraction non négligeable de T. Pour remédier à cet inconvénient il a imaginé une méthode graphique susceptible d'une approximation aussi grande qu'on veut et d'une application rapide. C'est l'exposé de cette méthode qui fait l'objet de sa communication.

1. Base analytique de la méthode. — La longueur a du fil ne changeant pas (si on néglige la variation très faible due à la variation de tension), la tension du fil de la portée n sera donnée en appliquant la formule (1), par

$$l = a - \Delta a_n + \frac{(a - \Delta a_n)^3 p^2}{24 T^2_n} \qquad (2)$$

En négligeant Δa_n devant a (mais non devant $l - a$), on en déduit

$$T^2_n = \frac{a^3 p}{24 (l - a + \Delta a_n)} \qquad (3)$$

et, par suite, on peut écrire

$$\Delta a_n = \varphi (T_n), \qquad (4)$$

φ étant une fonction de forme connue [3], représentée en φ sur la figure 2.

D'après les notations on aura

$$\Delta a_1 = f_1 - f_2, \qquad \Delta a_2 = f_2 - f_3, \ldots \qquad (5)$$

et, en désignant par k la flèche que prend le fil

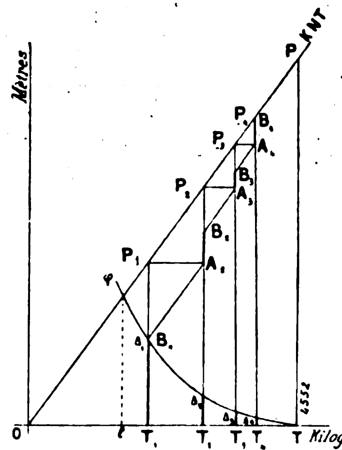


Fig. 2.

moyen sous l'action d'un effort horizontal de 1 kg,

$$f_1 = kNT_1, \qquad f_2 = kN(T_2 - T_1) \ldots \qquad (6)$$

2. Interprétation graphique. — Traçons (fig. 2) la courbe φ des Δa_n en fonction des T_n, donnés par (4) et la droite OP représentant les produits kNT. D'après (6) les droites B_1A_2, B_2A_3, B_3A_4, ... étant parallèles à cette dernière droite, on aura

$$f_1 = A_1P_1, \qquad f_2 = A_2P_2, \qquad f_3 = A_3P_3 \ldots$$

et d'après (5)

$$\Delta a_1 = A_1B_1, \qquad \Delta a_2 = A_2B_2, \qquad \Delta a_3 = A_3B_3 \ldots$$

Les points A_1, A_2, ... *ainsi que les points* B_1, B_2, ... *convergent vers le point.* — C'est cette remarque qui sert dans la résolution des divers problèmes qu'on peut envisager.

---

(1) Il est à remarquer que pratiquement les flèches décroissent très rapidement à partir du point de rupture et que dès lors n est un nombre relativement petit.

(2) *Lum. Élect.*, t. LII, p. 557, 23 juin 1894.

(3) Si l'on veut employer les formules hyperboliques, tenir compte de l'obliquité du fil au point d'attache, voire même de la variation de la tension aux divers points du fil et de l'allongement de celui-ci sous l'action de la tension, on pourra toujours, moyennant quelques calculs plus ou moins laborieux, calculer et tracer par points $\Delta a_n = \varphi(\tau_n)$, τ_n étant la composante horizontale de la tension du fil moyen au point d'attache. Cette dernière équation est toujours susceptible d'être résolue par approximation. Elle servirait au même usage que la relation (4), les grandeurs T étant alors remplacées par les grandeurs τ correspondantes.

3. Problèmes. — *Problème* I. — On se donne la portée a, le nombre N de fils, le poids p du fil par mètre courant, la tension de pose T, la constante k du poteau ; l'on demande la tension T_1 du fil après la rupture.

La solution est la suivante : Tracer (fig. 2) la courbe φ d'après la relation (4) et la ligne droite des kNT_n ; essayer une valeur T_1 prise au jugé ; pour cela tracer T_1P_1, P_1A_2, B_1A_2, puis T_2P_2 passant par A_2 ; porter A_2B_2 égal à $T_2\Delta_2$; tracer P_2A_3 et B_2A_3, puis T_3P_3 passant par A_3 ; porter $A_3B_3 = T_3\Delta_3$ et ainsi de suite. *Voir si les points* A_1A_2

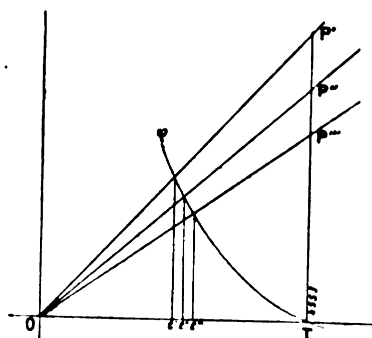


Fig. 3.

... B_1B_2, ... *convergent vers* P. S'il en est ainsi T_1 est bien choisi ; si la valeur choisie pour T_1 est trop faible, les points B finiront par passer au-dessus de la droite OP à gauche de P ; si la valeur choisie pour T_1 est trop forte, les points A finiront par passer à droite de PF, au-dessous de P [1].

Problème II. — On se donne a, p, T_1 la charge limite $P_1 = kNT_1$ que peut supporter le poteau avec sécurité et la constante k du poteau ; on demande le nombre N de fils que peut supporter le poteau.

[1] On se convaincra aisément, par l'étude d'un cas de la pratique, qu'un *très faible écart* en deçà ou au delà de la bonne valeur de T_1 se décèle rapidement par les caractères ci-dessus ; on arrivera donc très rapidement à fixer pour T_1 des valeurs limites, en moins et en plus, assez rapprochées.

On essaiera divers nombres de fils N'_1, N''_1, N'''_1, ce qui conduira à construire une série de lignes droites OP′, OP″, OP‴ (fig. 3) passant par les points P′, P″, P‴ d'abscisse T et dont les ordonnées sont les quotients de P_1 par kN', kN'', kN'''. Prenant successivement les diverses valeurs T'_1, T''_1, T'''_1 comme point de départ, on fera sur la courbe φ et successivement sur les droites OP′, OP″, OP‴ la construction indiquée précédemment. On verra rapidement que pour certaines droites OP′, OP″ par exemple, les valeurs correspondantes T'_1, T''_1 sont trop faibles ; que pour d'autres, telles que OP'''_1 les valeurs T'''_1 sont trop grandes. On en conclura que N est compris entre N″ et N‴. On essaiera des valeurs intermédiaires jusqu'à ce que l'on ait enserré N entre deux valeurs suffisamment rapprochées.

Problème III. — On se donne a, p, T, N, la charge maximum admissible pour le poteau $P_1 = kNT_1$; on demande la constante k du poteau. On essaiera diverses valeurs k', k'', k''', qui donnent (fig. 3) diverses droites OP′, OP″, OP‴ ; on aura pour T_1 les valeurs correspondantes, quotients de P_1 par kN, $k'N$, $k''N$, que l'on essaiera comme pour le problème précédent.

Autres problèmes. — Le poteau (c'est-à-dire k et la charge $P_1 = kNT_1$ admissible) et le nombre N de fils étant donnés, on peut rechercher l'un ou l'autre des éléments a, p, T, les deux autres étant donnés.

On essaiera à cet effet diverses courbes φ.

4. M. O. Colard termine en indiquant comment la même méthode permettrait de traiter les cas où les portées sont inégales, les poteaux différents, etc. Il examine aussi le cas où le n^e appui est rigide (alors $k = 0$ et $Bn - 1$ doit tomber sur OP). Il fait remarquer enfin que les graphiques font connaître, une fois l'inconnue trouvée, les valeurs des tensions T_1, T_2 ...., des flèches des poteaux, f_1, f_2 ...., etc.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 1er Mars 1902 9e Année. — N° 9.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES PROPRIÉTÉS DES ANNEAUX A COLLECTEURS

J'ai publié récemment (1), sous ce même titre, un article relatif à l'appareil de M. Latour. J'avais d'abord rédigé, pour servir d'introduction à cet article, une suite de réflexions se rapportant à des sujets connexes. J'ai ensuite jugé, ainsi que je l'ai expliqué à la fin de cet article, que ces réflexions pouvaient distraire l'attention du lecteur et lui dissimuler la simplicité du raisonnement, qu'en conséquence il valait mieux les séparer de l'article principal.

Néanmoins il ne sera peut-être pas inutile de reproduire ici ces réflexions, qui, pour la plupart se rapportent aux dynamos à courants continus.

1. Soient C_1, C_2, ... C_n, un certain nombre de circuits fermés ; I_k l'intensité du courant qui circule dans C_k ; soit U_k le flux de force qui traverse le circuit C_k, soit L_k la self-induction et R_k sa résistance ; E_k la force électromotrice qui règne dans ce circuit ; soit $M_{jk} = M_k$ le coefficient d'induction mutuelle de C_k et de C_j, on aura les équations bien connues :

$$\frac{dU_k}{dt} + R_k I_k = E_k \; ; \qquad (1)$$

$$U_k = L_k I_k + \Sigma M_{kj} I_j \, .$$

Qu'arrivera-t-il si l'un des circuits, le circuit C_1 par exemple vient à être rompu brusquement ? La résistance R_1 va augmenter très rapidement pour devenir infinie au bout d'un temps très court; les autres résistances R_k resteront finies. Si nous écrivons l'équation (1) sous la forme :

$$U_k = L_k I_k + \Sigma M_{kj} I_j = \int (E_k - R_k I_k)\, dt + \text{const}.$$

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 78, 18 janvier 1902.

et que nous étendions l'intégration à l'intervalle de temps très court pendant lequel dure la rupture, l'intégrale du second membre sera très petite pour $k = 2, 3, \ldots, n$, parce que la quantité sous le signe $\int$ est finie et que l'intervalle d'intégration est très petit ; mais cela ne sera plus vrai pour $k = 1$, parce que la quantité sous le signe $\int$ est très grande.

Soient donc

$$J'_1, J'_2, \ldots\ldots, J'_n,$$

les valeurs de $I_1, I_2, \ldots, I_n$ avant la rupture et U'_k la valeur correspondante de U_k et

$$J''_1, J''_2, \ldots\ldots, J''_n,$$

leurs valeurs après la rupture et U''_k la valeur correspondante de U_k ; on aura :

$$L_k J''_k + \Sigma M_{kj} J''_j = L_k J'_k + \Sigma M_{kj} J'_j \qquad (2)$$
$$(k = 2, 3, \ldots\ldots, n),$$

et d'autre part

$$J''_1 = 0. \qquad (3)$$

Ces équations (2) et (3) nous donnent les valeurs des courants après la rupture, quand on connaît leurs valeurs avant la rupture. Soit

$$T = \frac{1}{2} \Sigma L_k I^2_k + \Sigma M_{ki} I_k I_j,$$

l'énergie électrocinétique totale ; avant la rupture, sa valeur était

$$T' = \frac{1}{2} \Sigma L_k J'^2_k + \Sigma M_{kj} J'_k J'_j.$$

Elle sera après la rupture :

$$T'' = \frac{1}{2} \Sigma L_k J''^2_k + \Sigma M_{kj} J''_k J''_j.$$

Nous aurons évidemment :

$$\frac{dT}{dI_k} = U_k.$$

et de même :

$$\frac{dT'}{dJ'_k} = U'_k = L_k J'_k + \Sigma M_{kj} J'_j ; \qquad U''_k = L_k J''_k + \Sigma M_{kj} J''_j = \frac{dT''}{dJ''_k}.$$

Nous aurons évidemment :

$$2T = \Sigma I_k U_k ; \; 2T' = \Sigma J'_k U'_k, \; 2T'' = \Sigma J''_k U''_k,$$

et d'autre part :

$$\Sigma J''_k U'_k = \Sigma J'_k U''_k.$$

Je dis que nous avons :

$$2T'' = \Sigma J''_k U'_k = \Sigma J'_k U''_k.$$

Il vient en effet, pour toutes les valeurs de k

$$J''_k U''_k = J''_k U'_k,$$

car pour $k > 1$, on a $U'_k = U''_k$ et pour $k = 1$, $J'' = 0$.

On aura donc :

$$2(T'' - T') = \Sigma J'_k(U''_k - U'_k)$$

ou puisque $U'_k = U_k$ pour $k > 1$:

$$2(T'' - T') = J'_1(U''_1 - U'_1); \tag{4}$$

c'est là une première expression de la perte d'énergie due à la rupture:

Pour obtenir une seconde expression, j'observe que T′ est une forme quadratique par rapport aux J′ ; que U'_2, U'_3, ..., U'_n sont des fonctions linéaires des J′. Donc inversement J'_2, J'_3, ... J'_n seront des fonctions linéaires de

$$J'_1, U'_2, U'_3, \ldots\ldots, U'_n,$$

et par conséquent T′ sera un polynôme homogène du second degré par rapport à ces variables :

$$T' = P(J'_1, U'_2, U'_3, \ldots\ldots, U'_n).$$

Supposons que l'on donne à J'_1 une valeur déterminée, et qu'on cherche ensuite quel est le minimum de la fonction T′ quand J'_1 est assujetti à conserver cette valeur. La fonction T′ (qui est une forme définie positive) a certainement un minimum, puisqu'elle ne peut devenir négative.

Pour trouver ce minimum quand on prend pour variables les J′, on a à résoudre les équations

$$\frac{dT'}{dJ'_2} = \frac{dT'}{dJ'_3} = \ldots\ldots = \frac{dT'}{dJ'_n} = 0,$$

ou

$$U'_2 = U'_3 = \ldots\ldots = U'_n = 0, \tag{5}$$

Quand on prend pour variables J'_1, U'_2, U'_3, ..., U'_n, on a à résoudre :

$$\frac{dP}{dU'_2} = \frac{dP}{dU'_3} = \ldots\ldots = \frac{dP}{dU'_n} = 0, \tag{6}$$

Les équations (6) sont donc équivalentes aux équations (5), c'est-à-dire que les dérivées $\frac{dP}{dU'}$ ne dépendent que des U′ et pas de J'_1 ; on a :

$$\frac{d^2P}{dU'_k dJ'_1} = 0,$$

$$(k = 2, 3, \ldots\ldots, n),$$

c'est-à-dire que

$$T' = \frac{A_1 J'^2_1}{2} + \Phi(U'_2, U'_3, \ldots, U'_n)$$

Φ étant un polynône entier homogène par rapport aux U′. On aura de même :

$$T'' = \frac{A_1 J''^2_1}{2} + \Phi(U''_2, U''_3 \ldots, U''_n),$$

et à cause des équations (2) et (3) c'est-à dire de $U'_k = U''_k$, $J''_1 = 0$:

$$T'' = \Phi(U'_2, U'_3, \ldots, U'_n);$$

d'où enfin :

$$T' - T'' = \frac{A_1 J_1'^2}{2}. \qquad (7)$$

Je suppose que c'est cette expression que M. Leblanc appelle, dans son article, l'énergie intrinsèque du circuit C_1 (?)

Remarquons que le coefficient A_1 est toujours plus petit que la self-induction L_1. Si en effet nous faisons

$$J'_2 = J'_3 = \quad . . . \quad = J'_n = 0,$$

nous trouvons :

$$T' = \frac{L_1 J_1'^2}{2};$$

et si nous faisons ;

$$U'_2 = U'_3 = \quad . . . \quad = U'_n = 0,$$

nous trouvons :

$$T' = \frac{A_1 J_1'^2}{2}.$$

Or nous venons de voir que c'est dans ce second cas que l'énergie T atteint son minimum.

Le sens physique de ce coefficient A_1 est d'ailleurs facile à saisir. Je suppose que l'on mette tous les courants C_2, C_3, ..., C_n en court-circuit, de façon que

$$E_2 = E_3 = \quad . . . \quad = E_n = 0,$$

puis qu'on soumette le circuit C_1 à une force électromotrice E_1 d'alternance très rapide. A cause de cette rapidité d'alternance nous pourrons négliger les résistances R_k I_k devant les forces d'induction et écrire :

$$\frac{dL_1 I_1}{dt} + \sum \frac{dM_{1j}}{dt} = E_1.$$

$$\frac{dL_k I_k}{dt} + \sum \frac{dM_{kj} I_j}{dt} = 0,$$

$$(k = 2, 3, \quad . . . . \quad n),$$

Alors les équations précédentes s'écrivent :

$$\frac{dU_1}{dt} = E_1, \qquad \frac{dU_k}{dt} = 0.$$

Donc les U_k sont des constantes qui doivent être nulles, puisque nous partons du repos :

$$U_k = 0 \qquad (k = 2, 3, \quad . . . , \quad n).$$

On a alors :

$$T = \frac{A_1 I_1^2}{2} + \Phi(U_2, U_3, \quad . . . . \quad U_k) = \frac{A_1 I_1^2}{2},$$

et

$$U_1 = \frac{dT}{dI_1} = A_1 I_1 = \sum \frac{d\Phi}{dU_k} \frac{dU_k}{dt} = A_1 I_1 ;$$

et en effet les dérivées de Φ par rapport aux U_k sont des fonctions linéaires des U_k qui s'annulent avec ces variables.

Notre équation devient donc :

$$\frac{dA_1I_1}{dt} = E_1,$$

de sorte que notre coefficient A_1 n'est autre chose que la self-induction apparente du circuit C_1 quand les autres circuits sont placés en court-circuit.

Remarquons maintenant que A_1 est proportionnel au discriminant de la forme quadratique T. Ce discriminant ne sera jamais nul, mais quand il sera très petit, le coefficient A_1 et par conséquent l'énergie perdue par la rupture seront également très petits.

Voyons sur un exemple simple comment cette circonstance pourra se présenter ; supposons deux circuits seulement C_1 et C_2 ; on aura :

$$2T = L_1I_1^2 + 2MI_1I_2 + L_2I_2^2 = \left(L_1 - \frac{M^2}{L_2}\right)I_1^2 + \frac{U_2^2}{L_2},$$

$$U_2 = MI_1 + L_2I_2.$$

On aura donc :

$$A_1 = L_1 - \frac{M^2}{L_2}.$$

Le discriminant et A_1 seront très petits quand $L_1 L_2 - M^2$ sera très petit, c'est-à-dire quand l'ensemble des deux circuits sera assimilable à un transformateur *sans perte magnétique sensible*. Si alors C_2 est mis en court-circuit et qu'on fasse passer un courant alternatif dans C_1, les flux magnétiques primaire et secondaire se compenseront sensiblement et la self-induction apparente, que nous avons appelée A_1, sera presque nulle.

2. Envisageons maintenant le cas inverse et supposons que le circuit C_1, d'abord ouvert, soit brusquement fermé. Un courant prendra naissance dans le circuit ainsi fermé.

Mais il ne faudrait pas croire que cette fermeture du courant a nécessairement pour conséquence l'augmentation de l'énergie électrocinétique T ; elle peut tout aussi bien amener une diminution de cette énergie et cette remarque, comme on va le voir bientôt, est très importante.

Supposons, par exemple, pour prendre un cas simple, des forces électromotrices constantes et des circuits fixes, de sorte que les coefficients L et M soient constants.

Supposons pour simplifier encore deux circuits seulement, dont un seulement est d'abord fermé, l'autre étant rompu, et qu'on ferme ensuite l'un et l'autre.

On part d'un état de régime où l'on a :

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1}, \qquad I_2 = 0,$$

et par conséquent :

$$T = \frac{L_1}{2}\left(\frac{E_1}{R_1}\right)^2;$$

et il tend à s'établir un nouveau régime où l'on a :

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1}, \qquad I_2 = \frac{E_2}{R_2}, \qquad T = \frac{L_1}{2}\left(\frac{E_1}{R_1}\right)^2 + M\,\frac{E_1}{R_1}\,\frac{E_2}{R_2} + \frac{L_2}{2}\left(\frac{E_2}{R_2}\right)^2;$$

et il n'y a aucune raison pour que la seconde valeur de T soit plus grande que la première. Tout dépend des signes et des valeurs de M et de E_2.

D'autre part, il peut se faire qu'au moment où le nouveau circuit est brusquement fermé, on n'ait pas encore atteint un état de régime, parce que le régime antérieur aura été trou-

blé pour une cause quelconque, et que la perturbation n'aura pas encore cessé au moment de la fermeture du courant.

Par exemple, reprenons l'ensemble de n circuits envisagé dans le numéro précédent ; nous partons d'un état de régime où, si les forces électromotrices sont constantes et les circuits fixes, les intensités des courants sont

$$J_k = \frac{E_k}{R_k}.$$

Après la rupture du circuit C_1, les nouvelles intensités J' seraient données par nos équations.

$$J'_1 = 0, \qquad U'_k = U_k,$$

Mais l'état ainsi obtenu ne serait pas définitif, et au bout d'un certain temps les intensités seraient devenues :

$$I_1 = 0, \qquad I_k = \frac{E^k}{R_k}.$$

Il n'y a d'ailleurs aucune raison pour que l'énergie électrocinétique soit toujours plus grande (ou toujours plus petite) quand le régime sera établi, qu'immédiatement après la rupture.

J'ai voulu seulement appeler l'attention sur ces points ; parce que, sans cela, quelques lecteurs auraient pu se laisser entraîner à tirer des conclusions hâtives. Et si nous ne pouvons rien affirmer dans les cas les plus simples que nous venons d'examiner, il est clair que dans les cas les plus complexes où les forces électromotrices sont variables et les circuits mobiles, nous ne pourrons rien affirmer non plus et que nous ne pouvons savoir d'avance si l'énergie électrocinétique T va augmenter ou diminuer quand on établira de nouvelles connexions.

3. Avant d'aller plus loin, rappelons la forme que prend en électrodynamique l'équation de la conservation de l'énergie. L'énergie cinétique est égale à :

$$T^* = \frac{1}{2}\sum L_k I^2_k + \sum M_{kj} I_k I_j = \frac{1}{2}\sum I_k U^*_k \quad ,$$

ou en supprimant les astérisques devenues inutiles :

$$T = \frac{1}{2}\sum L_k I^2_k + \sum M_{kj} I_k I_j = \frac{1}{2}\sum I_k U_k, \tag{1}$$

$$U_k = \frac{dT}{dI_k}.$$

Les équations de l'électricité s'écrivent :

$$\frac{dU_k}{dt} + R_k I_k = E_k. \tag{2}$$

Dans la dérivée $\frac{dU_k}{dt}$ nous devons distinguer deux parties : celle qui provient de la variation des intensités et que j'appellerai ΔU_k, à savoir

$$\Delta U_k = L_k \frac{dI_k}{dt} + \sum M_{kj} \frac{dI_j}{dt}$$

et celle qui provient de la variation des coefficients L et M, c'est-à-dire du mouvement des circuits ; je l'appellerai DU_k de sorte que :

$$DU_k = I_k \frac{dL_k}{dt} + I_j \frac{dM_{kj}}{dt} .$$

et :

$$\frac{dU_k}{dt} = \Delta U_k + DU_k .$$

De même dans la dérivée de T, nous distinguerons la partie qui provient de la variation des intensités, que j'appellerai ΔT, de sorte que :

$$\Delta T = \sum \frac{dT_k}{dI_k} \frac{dI_k}{dt} = \sum U_k \frac{dI_k}{dt} = \sum I_k \Delta U_k ,$$

et la partie qui provient de la variation de L et M, et que j'appellerai $DT = \frac{d\tau}{dt}$, de sorte que :

$$DT = \frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{2} \sum I_k DU_k ;$$

$$\frac{dT}{dt} = \Delta T + \frac{d\tau}{dt} .$$

On voit aisément que $d\tau$ représente le travail élémentaire des forces électrodynamiques. Si alors je multiplie les équations (2) par I_k et que j'ajoute ; il vient :

$$\sum I_k \frac{dU_k}{dt} + \sum R_k I^2_k = \sum E_k I_k , \qquad (3)$$

$\Sigma R_k I_k^2 dt$ représente (en joules) l'énergie perdue sous forme de chaleur de Joule ; je l'appelle dQ ; $\Sigma E_k I_k dt$ représente l'énergie électrique empruntée à l'extérieur ; je l'appelle dH.

$$\sum E_k I_k = \frac{dH}{dt}$$

$$\sum R_k I^2_k = \frac{dQ}{dt} ;$$

L'équation (3) devient donc :

$$\Delta T + 2 \frac{d\tau}{dt} + \frac{dQ}{dt} = \frac{dH}{dt},$$

ou

$$\frac{dT}{dt} + \frac{d\tau}{dt} + \frac{dQ}{dt} = \frac{dH}{dt},$$

Cette équation signifie que l'énergie dH empruntée à la source électrique se retrouve sous trois formes : 1° d'accroissement dT de l'énergie électrocinétique ; 2° de travail mécanique $d\tau$; 3° de chaleur de Joule dQ.

4. Nous allons appliquer l'équation que nous venons de trouver :

$$dT + d\tau + dQ = dH,$$

aux différents problèmes qui nous occupent, mais auparavant pour la mieux faire comprendre, je voudrais en montrer l'application à un cas bien connu, celui des dynamos à courant continu. Le mouvement de la dynamo sera partagé en périodes toutes semblables ; le com- ...

mencement de chaque période étant marqué par le moment où le balai quitte l'une des lames du collecteur et la fin par le moment où il quitte la lame suivante.

Dans la chaleur de Joule dQ, nous distinguerons celle qui se produit dans les spires et que nous appellerons dQ', et celle qui se produit aux balais au moment de la rupture et que nous désignerons par dQ'',

$$dQ = dQ' + dQ''.$$

Cette chaleur dQ'', que l'on réduit par le décalage des balais, représente précisément la perte d'énergie qui se produit du fait de la rupture et que nous avons appelée $T' - T''$ au n° 1.

Supposons pour fixer les idées, que la dynamo fonctionne comme moteur.

Pendant la durée d'une période, nous pourrons supposer que les coefficients L et M varient uniformément, de telle sorte que l'on ait :

$$\frac{dL_k}{dt} = \text{const.} \qquad \frac{dM_{kj}}{dt} = \text{const.}$$

Si un régime s'établissait, les courants I_k deviendraient constants et leurs valeurs se déduiraient des équations linéaires :

$$I_k \frac{dL_k}{dt} + \sum I_j \frac{dM_{kj}}{dt} + R_k I_k = E_k.$$

Telles seraient les valeurs qu'atteindraient les intensités, si le régime avait le temps de s'établir.

Dans ces conditions on aurait :

$$\frac{dI_k}{dt} = 0, \qquad \Delta T = 0.$$

Nous négligerons dQ' (ainsi que les pertes dues à l'hystérésis). D'ailleurs dQ'' est nul sauf au moment de la commutation, de sorte qu'on devrait avoir :

$$2d\tau = d\Pi = dT + d\tau,$$

ce qui voudrait dire que l'énergie électrique empruntée à l'extérieur se partagerait en deux parties égales ; une des moitiés serait convertie en travail mécanique et l'autre servirait à augmenter l'énergie électrocinétique T.

Si donc les courants avaient une valeur constante pendant toute la période, la moitié de l'énergie empruntée à l'extérieur serait employée à augmenter T. Mais à la fin d'une période, T doit reprendre la même valeur, il faut donc que pendant la commutation, l'énergie T diminue brusquement et juste autant qu'elle a augmenté pendant le reste de la période.

Pendant la durée très courte de la rupture, on peut admettre que l'on a :

$$d\tau = d\Pi = dQ' = 0.$$

Il resterait donc :

$$dT = -dQ''.$$

Ce qui voudrait dire que la diminution de l'énergie électrocinétique T se retrouverait dans la chaleur de l'étincelle de rupture. Or cette diminution serait égale à l'augmentation de T pendant le reste de la période, c'est-à-dire à la moitié de l'énergie empruntée à l'exté-

rieur. Ainsi le rendement de notre moteur serait seulement de $\frac{1}{2}$ et la moitié de l'énergie extérieure serait employée à démolir le collecteur.

Cette conséquence est inadmissible, et au contraire on se place dans des conditions telles que dQ'' soit très petit. Il est donc impossible d'admettre que les intensités des courants sont les mêmes qu'elles le seraient dans le régime.

Nous ne pouvons admettre non plus qu'il y a une phase d'établissement relativement très courte suivie d'une longue phase de régime. On aurait encore dans la phase du régime.

$$dT = d\tau = \frac{dH}{2}.$$

Pendant la phase d'établissement, le travail total $\int d\tau$ devrait être très faible, à cause de la courte durée de cette phase, on aura donc

$$\int dT = \int dH.$$

Si donc je désigne par T_1, τ_1, H_1 les intégrales T, τ, H pendant la phase de régime, par T_2, τ_2, H_2 les mêmes intégrales pendant la phase d'établissement, on aurait :

$$T_1 = \tau_1 = \frac{H_1}{2}; \quad T_2 = H_2.$$

D'autre part on a pendant la rupture

$$\int dT = -\int dQ';$$

et si la commutation est parfaite

$$\int dT = 0,$$

l'intégration étant étendue à la durée de la rupture.

Comme cette même intégrale $\int dT$ est nulle quand on l'étend à toute une période, parce que T doit reprendre la même valeur après une période, on devrait avoir

$$T_1 + T_2 = 0,$$

et par conséquent :

$$H_2 = -\frac{H_1}{2};$$

ce qui voudrait dire que l'on restituerait à la source extérieure pendant la phase d'établissement, la moitié de l'énergie qu'on lui aurait empruntée pendant la phase de régime.

C'est encore là une conséquence fantastique, et il faut admettre que les courants varient, principalement dans les parties en court-circuit, pendant toute la durée de la période.

Alors T subit une double variation, la première ΔT due aux variations des intensités, la seconde $d\tau$ due au déplacement des circuits. Les deux intégrales

$$\int \Delta T, \quad \int d\tau,$$

étendues à toute la durée d'une période sont égales et de signe contraire.

Quelles que soient d'ailleurs ces variations, la résistance apparente du système n'en est pas affectée.

5. Supposons deux balais seulement, et $2n$ lames; je suppose que pendant la période considérée le premier balai est au contact des lames 1 et 2, le second au contact des lames $n+1$ et $n+2$; que pendant la période suivante, le premier balai est au contact des lames $2n$ et 1, et le second des lames n et $n+1$.

Le circuit C_1 sera formé des spires 1, 2, ..., n, en appelant spire 1 celle qui va de la lame 1 à la lame 2; le circuit C_2 se composera des spires $n+1$, $n+2$, ..., $2n$.

Nous avons en outre les circuits C_3, C_4 et C_5 formés des spires en court-circuit 1 et $n+1$ et du circuit d'excitation.

Soit u_k le flux qui traverse la spire k, nous aurons :

$$U_1 = u_1 + u_2 + \ldots + u_n,$$
$$U_2 = u_{n+1} + \ldots + u_{2n};$$

de sorte que

$$U_1 + U_2 = \Sigma u.$$

($U_1 + U_2$ est le plus souvent nul, mais nous ne nous servirons pas de cela)

Or

$$E_1 = R_1 I_1 + \frac{dU_1}{dt}, \quad E_2 = R_2 I_2 + \frac{dU_2}{dt}, \quad R_1 = R_2.$$

Donc :

$$E_1 + E_2 = R_1 (I_1 + I_2) + \frac{d(U_1 + U_2)}{dt},$$

et

$$\int (E_1 + E_2) dt = R_1 \int (I_1 + I_2) dt + \int d(U_1 + U_2).$$

L'intégrale $\int d(U_1 + U_2)$ étendue à toute la durée d'une période est nulle; non seulement parce que $U_1 + U_2$ est le plus souvent nul, mais parce que après une période, chaque spire ayant pris la place de la précédente, Σu ne peut avoir changé. On a donc :

$$\int (E_1 + E_2) dt = R_1 \int (I_1 + I_2) dt,$$

ce qui veut dire que le rapport de la force électromotrice *moyenne* à l'intensité *moyenne* est égal à la résistance.

Je termine ici ces réflexions qui me semblent montrer combien les phénomènes dans une dynamo continue s'écartent d'un régime régulier. On comprendra mieux ensuite, que dans l'appareil de M. Latour qui faisait l'objet de l'article cité, les phénomènes devaient également être tout à fait différents de ce qu'ils auraient été dans un régime régulier.

H. Poincaré.

ÉTUDE COMPARÉE
DES
SYSTÈMES ET APPAREILS DE TRACTION ÉLECTRIQUE (1)

II. — Matériel moteur a courant continu ou alternatif

Moteurs de traction a courant continu. — On connaît assez bien leurs caractères généraux pour qu'il soit inutile d'y insister. Ils sont le plus souvent étudiés pour un nombre de démarrages donné par heure et un fonctionnement prolongé à pleine vitesse, c'est-à-dire à faible courant, par conséquent pertes prolongées dans le fer.

Ils sont étudiés pour échanger facilement leur chaleur de l'intérieur vers l'extérieur et aussi bien ventilés que possible, malgré leur enveloppe.

Dans les types récents, on a recherché à avoir une self-induction d'induit aussi faible que possible pour faciliter la commutation. On a résolu cette difficulté malgré la précaution prise de réduire autant que possible les spires inductrices, c'est-à-dire l'échauffement des inducteurs. Cela conduit à des moteurs ayant un nombre de segments collecteurs plus élevé que dans les anciens modèles.

Construits pour un service de traction donné, c'est-à-dire pour un nombre donné de démarrages et une durée de marche prévue à pleine vitesse, ces moteurs doivent avoir des pertes dans le fer très réduites (pour cette dernière raison) et des pertes dans le cuivre limitées par la première considération.

Le rayonnement de la chaleur dissipée doit se faire aussi bien que possible : on connaît toutes les dispositions mécaniques prises à cet effet.

Comme, pour limiter l'échauffement des inducteurs, traversés par le même courant que leur induit, on leur a donné un nombre de tours aussi limité que possible, on a dû étudier avec des soins particuliers la question de la commutation aux différentes charges, d'autant plus que la position invariable des balais rendait ce problème plus difficile. On peut dire que les moteurs de construction moderne sont caractérisés par leur enroulement inducteur moindre et par leur grand nombre de touches au collecteur.

Moteurs de tramways a courant alternatif. — Si on a employé parfois des moteurs de traction asynchrones, ce n'est pas en considération d'avantages quelconques de ces moteurs, mais pour économiser une partie des feeders (à courant continu ou alternatif) nécessaires avec une installation mixte comportant la production de courant alternatif et sa transformation en courant continu. On peut comparer le moteur asynchrone au moteur à courant continu à excitation shunt : il a comme lui un seul régime économique de marche, tandis que le moteur à courant continu à excitation série est susceptible de fonctionnement économique à des vitesses très variées.

L'analyse comparée des pertes dans un moteur série à courant continu et dans un moteur asynchrone à courant alternatif, pendant la période d'accélération, conduit à reconnaître que les pertes dans un moteur alternatif dépassent deux et même trois fois les pertes dans un moteur à courant continu.

Encore doit-on supposer que l'entrefer a été réduit pour le moteur à courant alternatif, ce qui en complique l'entretien et le réglage et rend son exploitation plus onéreuse.

L'auteur estime que l'espace limité dont on dispose ne permet pas de dépasser, avec sécurité, le voltage de 3 000 volts au moteur : comme les pertes plus considérables obligent à lui donner une surface rayonnante plus grande et comme pour bien des raisons l'utilisation des matériaux est

(1) Voir le précédent numéro, p. 275.

inférieure, le prix de revient des moteurs, à puissance égale, est beaucoup plus considérable pour l'alternatif, et la différence est d'autant plus accusée que le service comporte des arrêts et des mises en marche plus fréquents.

Enfin le développement considérable des moteurs à courant continu, entrainant une production considérable, abaisse encore leur prix de revient et leur donne un nouvel avantage dans la compétition.

Toutes ces raisons font qu'aux États-Unis on trouve non seulement économie d'exploitation, mais encore économie de premier établissement, à installer des commutatrices et des moteurs à courant continu. Chaque cas doit, naturellement, faire l'objet d'une étude particulière.

Une étude superficielle suffit à prouver que toutes les fois qu'il a été fait usage du moteur à courant alternatif pour la traction son emploi n'était motivé par aucun avantage inhérent au moteur lui-même, mais par l'économie réalisée sur les frais de premier établissement, sur le personnel, avec un réseau entièrement à courant alternatif au lieu d'un réseau mixte à courant alternatif et continu avec commutatrices : c'est, pourtant, dans le cas seulement où un service comporte des parcours relativement longs, séparés par un petit nombre d'arrêts seulement, ou dans les pays montagneux où le moteur asynchrone permet une récupération d'énergie, que ce système peut présenter plus d'économie que le courant continu.

Encore, peut-on se demander si, dans bien des cas où l'on a employé des moteurs à courant alternatif, on n'aurait pas mieux fait d'employer des moteurs à courant continu.

Les moteurs de tramways à courant alternatif sont asynchrones et polyphasés, leur caractéristique ressemble à celle des moteurs à courant continu à excitation shunt, c'est-à-dire qu'ils n'ont, comme on le disait antérieurement, qu'une seule vitesse de régime économique, tandis que les moteurs série à courant continu sont susceptibles de fonctionnement économique à des vitesses très variées.

Il est donc évident que, dans un service de traction où la vitesse doit varier beaucoup pendant le parcours et où les voitures doivent subir des arrêts et des démarrages fréquents et à des intervalles rapprochés, l'énergie consommée par un moteur asynchrone est supérieure à l'énergie nécessaire aux moteurs à courant continu.

On sait qu'il faut à des moteurs d'induction une quantité déterminée de courant déwatté, qui rend la puissance apparente absorbée supérieure à la puissance du moteur à courant continu.

Si on conservait le même entrefer dans les deux types de moteurs le courant déwatté pris par un moteur asynchrone serait tout à fait prohibitif. Il faut donner à ce moteur un entrefer beaucoup plus réduit qu'au moteur à courant continu : il en résulte qu'il est plus délicat à régler et à entretenir, et qu'il doit donner lieu, en général, à des réparations plus coûteuses

Le courant déwatté dépend du voltage appliqué au moteur et croît en même temps que son voltage. Dans l'état actuel des méthodes d'isolement et avec l'espace réduit affecté aux moteurs de tramways, il paraît presque impossible d'enrouler le moteur pour plus de 3 000 volts ; même avec le minimum d'entrefer compatible avec la sécurité on ne peut obtenir, dans les meilleures conditions, qu'un facteur de puissance maximum de 85 à 88 p. 100 à pleine charge, et un rendement de 86 p. 100, transmission comprise ; cela donne un rendement apparent minimum de 77 p. 100, ou en d'autres termes, les kilovolts-ampères employés par un moteur dépasseront d'environ 30 p. 100 les kilowats de puissance utile correspondante. Le moteur a courant continu, au contraire, ne donnera pas de pertes supérieures à 12 ou 15 p. 100.

Donc, en vue des lois gouvernant la construction de moteurs asynchrones, il y a lieu de prévoir que les pertes dans le cuivre d'un moteur à courant alternatif pour tramways seront notablement supérieur à celles d'un moteur à courant continu.

La perte dans le noyau d'induction du moteur asynchrone est encore plus élevée que la perte dans le fer induit du moteur à courant continu à la vitesse maxima, ce qui est une autre source d'échauffement du moteur.

Cet échauffement plus élevé est véritablement à redouter, il conduit à employer un moteur de plus grandes dimensions, de prix plus élevé pour même puissance d'équipement, par conséquent.

Pour préciser encore ces considérations, examinons les pertes dans un couple de moteurs à courant continu ou alternatif passant du repos à la pleine vitesse.

Dans un moteur à courant continu la perte dans le fer par hystérésis et courants de Foucault est nulle à vide et s'élève avec la vitesse.

Dans les moteurs à courant alternatif à vide, dans les conditions les plus favorables, la perte dans le fer inducteur n'est pas inférieure à la perte maxima du fer induit du moteur à courant continu et la perte dans l'induit à vide est à peu près la même que dans l'inducteur.

A pleine vitesse la perte dans l'inducteur reste la même, mais la perte dans l'induit tend vers zéro.

On peut donc dire approximativement que, dans un moteur à courant continu, la perte moyenne pendant l'accélération est la moitié de la perte maxima et elle équivaut à 1 fois 1/2 la perte dans le fer des moteurs à courant alternatif.

En d'autres termes, les moteurs à courant alternatif donnent lieu à 3 fois plus de perte que les moteurs à courant continu pendant la période d'accélération.

Si on ajoute que la majoration de perte d'énergie dans le cuivre correspond à la majoration de courant, on trouve que le moteur à courant alternatif bien étudié dissipe environ 4 fois plus d'énergie que le moteur à courant continu, sur des parcours relativement peu étendus, comme ceux des métropolitains : pour dissiper cette énergie il faut amplifier le moteur et lui donner des facilités de rayonnement plus grandes.

Cela ne veut pas dire que dans un service donné la différence des deux types de moteurs sera aussi marquée. Si, par exemple, les parcours ont plus d'étendue, les périodes d'accélération sont courtes par rapport aux distances totales des parcours, mais les pertes dans le moteur d'induction n'en dépasseront pas moins encore les pertes du moteur à courant continu.

Les prix d'établissement restent également plus élevés pour les raisons que nous donnons plus haut. Il semble que l'écart atteint souvent 10 p. 100, ce qui a de l'importance, puisque le prix de revient des équipements est un facteur considérable de l'installation complète.

L'avantage des moteurs continus est encore augmenté aux États-Unis du fait que leur usage très répandu dans ce pays en a réduit beaucoup le prix. En résumé, il semble, pour les États-Unis au moins, qu'il y ait non seulement économie d'exploitation, mais aussi économie d'achat, à installer des commutatrices transformant le courant alternatif en continu : il se peut, cependant, que les différences n'aillent pas si loin pour les pays où le moteur à courant continu n'a pas été aussi développé qu'aux États-Unis et cela peut expliquer la réalisation récente de quelques installations comportant des moteurs à courant alternatif.

Pour mieux caractériser les deux types de moteurs, il faut enfin prendre un exemple, et le traiter entièrement. C'est ce que nous ferons dans la dernière partie de cette étude.

(à suivre).

P. LETHEULE.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Compoundage des alternateurs, par **A. Heyland**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1021, 12 décembre 1901.

La question du compoundage des alternateurs a été très étudiée dans ces derniers temps, comme le montrent les brevets pris à ce sujet par l'Union Elektricitaets Gesellschaft, par M. Leblanc et Ch. P. Steinmetz. Ces différentes méthodes de compoundage utilisent une commutatrice transformant en courant continu, destiné à renforcer l'excitation, une partie du courant principal de l'alternateur : une des grosses difficultés réside dans la nécessité de tenir compte de la différence de phase dont l'action est très

grande sur la chute de tension ; M. Leblanc et Steinmetz, par des procédés ingénieux, sont arrivés chacun de leur côté à la solution, en faisant intervenir dans la commutatrice la composante déwattée du courant principal : mais leurs méthodes sont très compliquées.

L'auteur indique une solution plus simple fondée sur le principe du générateur ou moteur asynchrone auto-excitateur [1].

Considérons d'abord un alternateur synchrone ordinaire, monophasé à deux pôles (fig. 1). Soit

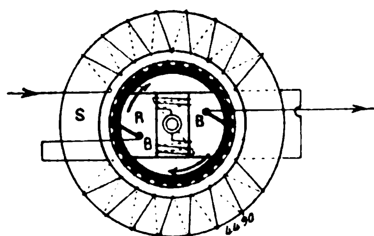


Fig. 1. — Générateur synchrone compoundé.

S l'induit ou stator, R l'inducteur ou rotor, ce dernier étant muni d'un enroulement analogue à un amortisseur Leblanc, mais dont les barres aboutissent à un collecteur sur lequel frottent deux balais B B. On intercale cet enroulement en série dans le courant principal, et il est évident que par un choix convenable du nombre de spires et de la position des balais, on peut réaliser ainsi une force magnétomotrice égale et opposée à celle de l'induit, qui se trouve ainsi compensée.

D'autre part, dans cet enroulement qui tourne synchroniquement avec le champ inducteur, il n'est induit aucune force électromotrice, et par suite la tension entre les balais se réduit à la chute ohmique.

La figure 2 *a* représente le diagramme d'un alternateur pour une charge quelconque, la machine étant assez loin de la saturation pour que l'on puisse considérer les flux comme proportionnels aux ampères-tours : le sens de rotation des vecteurs est celui des aiguilles d'une montre. AE représente la tension, AJ le courant, φ le décalage. OA représente le champ résultant fictif qui correspond à une force électromotrice induite égale à la tension aux bornes. OB est le champ inducteur, résultante des vecteurs qui représentent les champs correspondant respectivement : OA, à la tension aux bornes; AC, à la réaction de l'armature; CD, à la dispersion de l'armature ; DB, à la chute ohmique : ce vecteur OB indique l'excitation nécessaire pour obtenir une tension aux bornes E, pour un courant J et

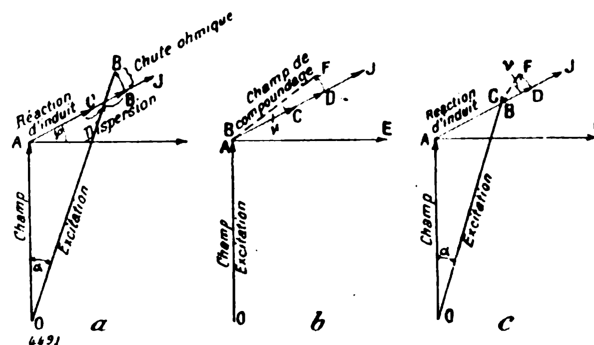


Fig. 2. — Générateur synchrone.
a, sans compoundage ; *b*, compoundé ; *c*, partiellement compoundé.

un décalage φ, alors que dans la marche à vide, elle est représentée par OA : par suite, si l'on maintient l'excitation constante et égale à OA, la tension s'abaissera de la marche à vide, à la marche en charge, dans le rapport $\frac{OA}{OB}$.

Le compoundage a pour but de maintenir la tension constante, sans modifier l'excitation. Il faut donc supprimer le polygone ACDF (fig. 2 *b*) en le compensant par un vecteur FB, de façon que les vecteurs OB et OA soient confondus pour toutes les charges. On obtient ce résultat en envoyant dans l'enroulement spécial, le courant principal, ce qui crée un champ FB proportionnel au courant, et décalé sur ce courant d'un angle θ, qui dépend seulement de la position des balais par rapport à la zone neutre.

Théoriquement le compoundage obtenu pour une charge, sera exact pour toutes les charges et toutes les valeurs du décalage : l'angle θ ne dépend que de la résistance ohmique de l'alternateur Φ [1].

[1] Cf. Elektrotechnische Zeitschrift, 8 août 1901, p. 633 ; *L'Industrie Électrique*, 10 septembre 1901, p. 389 ; *L'Éclairage Électrique*, 26 octobre 1901, p. 117.

L'auteur indique que dans un moteur de 12 chevaux, le décalage était complètement annulé, et le courant à vide abaissé de la valeur 15 A, à 3 A, par l'emploi du système de compensation : de plus, commandé par courroie, et séparé du réseau, le moteur fonctionnait comme générateur, s'excitait automatiquement comme une dynamo shunt, et pouvait alimenter un groupe de lampes à incandescence.

[1] Cette loi n'est exacte que si la valeur absolue de la

Pour déterminer pratiquement le compoundage, il suffira de prévoir un nombre d'ampères-tours égal ou supérieur à la valeur de l'ensemble de la réaction d'induit et des ampères-tours équivalents à la dispersion, et sur la machine une fois terminée, on réglera la valeur exacte par un shunt convenable intercalé entre les balais, et on compensera la chute ohmique par un décalage θ des balais, le tout expérimentalement.

Le dispositif du compoundage est encore plus simple pour le générateur asynchrone auto-excitateur de l'auteur (fig. 3 *a*) : là, en effet, l'enroulement excitateur peut servir pour le compoundage : il suffit d'ajouter aux balais *b b*, de l'enroulement d'excitation, des balais BB, intercalés en série dans le courant principal, et convenablement placés (fig. 3 *b*).

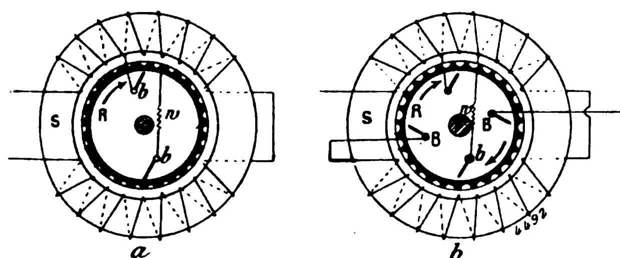


Fig. 3. — Générateur asynchrone.
a, sans compoundage; *b*, compoundé.

L'auteur expose ensuite ses vues sur le compoundage des machines destinées à marcher en parallèle, soit toutes comme génératrices, soit comme génératrice et réceptrice combinées.

Le compoundage s'impose pour un générateur destiné à fonctionner seul, et à alimenter un réseau d'éclairage et de force, mais il ne convient pas aux générateurs synchrones marchant en parallèle : dans ce cas s'il n'y a que deux générateurs, on peut procéder comme pour les dynamos à courant continu, en faisant circuler le courant d'une des machines dans l'enroulement compound de l'autre ; s'il y a plus de deux générateurs, on se contentera d'en compounder deux comme il vient d'être dit ; ces deux alternateurs fourniront les courants déwattés nécessaires au réseau en cas d'augmentation du décalage, et maintiendront constante la tension de l'ensemble [1].

Les mêmes considérations s'appliquent au transport d'énergie entre un générateur et un récepteur synchrones : on peut compounder l'un ou l'autre des deux appareils : l'auteur conseille le compoundage partiel du moteur, représenté par la figure 2*c*, dans lequel on a seulement compensé la chute ohmique et la dispersion ; le moteur se comportera alors comme une machine idéale sans chute ohmique ni dispersion, et le diagramme sera réduit à la forme simple OBA.

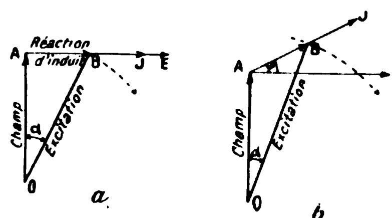


Fig. 4. — Générateur synchrone.
a, charge non inductive; *b*, charge inductive.

Le cas du générateur asynchrone est beaucoup plus favorable pour la marche en parallèle et le transport d'énergie : les figures 4 et 5, *a* et *b* représentent les diagrammes de générateurs sous-compoundés (relativement à la chute ohmique et à la dispersion), respectivement synchrones et asynchrones, et pour des marches sur résistance non inductive et inductive. La forme spé-

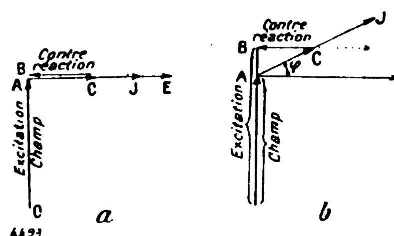


Fig. 5. — Générateur asynchrone.
a, charge non inductive; *b*, charge inductive.

réaction d'induit est indépendante du décalage, c'est-à-dire de la position de l'inducteur par rapport à l'induit au moment du passage du courant à sa valeur maximum, autrement dit, en employant les expressions de la théorie bien connue de M. Blondel, si la réaction directe est égale à la réaction transversale. N. d. T.

[1] Laissant à une plume plus autorisée le soin de critiquer en détail les vues de l'auteur sur le compoundage, nous ferons simplement remarquer qu'elles sont en contradiction avec les principes démontrés depuis longtemps par M. Blondel, à savoir, que les alternateurs compounds sont beaucoup plus aptes que les autres à la marche en parallèle. N. d. T.

ciale des diagrammes des figures 5, est due à ce fait que dans les générateurs ou moteurs asynchrones, les ampèretours du secondaire sont exactement opposés et sensiblement égaux aux ampèretours wattés du primaire, ou en d'autres termes, il n'y a aucune réaction d'induit pour les courants wattés : c'est là une circonstance très favorable pour la marche en parallèle, dans laquelle, d'après l'auteur, la réaction d'induit des courants déwattés est absolument nécessaire ([3]). Quant à la réaction des courants wattés, c'est un défaut inévitable des machines synchrones, que l'on cherche à réduire d'ailleurs par tous les moyens possibles : augmentation de l'entrefer, de la saturation des pôles, du nombre des ampèretours inducteurs.

Si on compare la marche en parallèle dans les alternateurs synchrones et asynchrones, on constate qu'une augmentation de charge se traduit, dans les machines synchrones, par un retard de phase α, qui doit rester inférieur à 90°, sous peine de décrochage ; dans les machines asynchrones, au contraire, cette augmentation se traduit par un glissement qui ne présente aucun inconvénient, mais constitue un intermédiaire élastique dans le transport de l'énergie, si bien que les machines entraînant des générateurs asynchrones, n'ont pas besoin de posséder un coefficient d'irrégularité inférieur à celui qui est requis pour la conduite des dynamos à courant continu.

Pour un moteur synchrone, le cos φ n'est jamais égal à 1 pour toutes les charges ; si le moteur est un peu surexcité, le décalage est en avant à vide, nul pour une valeur convenable de la charge et en arrière pour une valeur supérieure ; dans le moteur asynchrone sous-compoundé le cos φ est égal à 1 pour toutes les charges, si le moteur est convenablement excité (fig. 5 *a*), il est plus petit que 1, si le moteur est trop ou trop peu excité, mais il croît quand la charge augmente (fig. 5 *b*).

De ces considérations, l'auteur conclut que les machines asynchrones présentent sur les autres de notables avantages au point de vue marche en parallèle, ou transport d'énergie.

A. Mauduit.

Nouveau générateur de courants continus à fonctions multiples, par **O. M. Corbino.** *Elettricista*, t. X, 1901. — Brevet italien.

Le principe du générateur de O. M. Corbino est déduit de celui des moteurs asynchrones polyphasés.

Dans un moteur asynchrone à champ tournant, on munit l'enroulement inducteur d'un collecteur Pacinotti pourvu de balais et l'on rend mobile autour de l'axe, soit l'induit, soit l'inducteur, soit les deux ensemble, au moyen de poulies appropriées.

D'un côté de la machine, on a le collecteur et les bagues de l'inducteur comme dans l'induit d'une commutatrice ; de l'autre on a les bagues qui terminent le circuit induit pour pouvoir le fermer sur une résistance variable. On appellera inducteur la partie munie du collecteur quoique les rôles soient parfois intervertis.

1° *Marche en génératrice de courant continu.* — On maintient fixe les balais et l'on imprime à l'inducteur une vitesse angulaire ω dans le sens dextrorsum et à l'induit une vitesse ε en sens inverse. On envoie par les balais un courant continu et on ferme l'induit sur une résistance extérieure telle que la résistance totale soit R.

Supposons que l'on donne à tout le système une vitesse ω dans le sens sinistrorsum, l'inducteur deviendrait fixe, les balais tourneraient dans ce sens avec une vitesse ω et l'induit avec une vitesse $\omega + \varepsilon$. Les balais par lesquels pénètre dans l'inducteur le courant continu engendreraient un flux tournant qui tendrait à entraîner l'induit comme dans un moteur asynchrone ; mais comme celui-ci se meut avec une vitesse supérieure à celle du synchronisme, le couple C deviendrait résistant et la partie $C\varepsilon$ de la puissance mécanique appliquée $C(\omega + \varepsilon)$ se transformerait en chaleur dans l'induit tandis que $C\omega$ serait restitué au circuit inducteur comme dans les génératrices asynchrones de Leblanc.

Pour montrer que cette énergie est restituée au circuit inducteur sous forme de courant continu, nous reviendrons au système primitif. Les balais engendrant un flux tournant, l'induit donnait lieu à un flux propre en avance sur le flux inducteur de $\frac{\pi}{2} + \theta$ où

$$\text{tg}\,\theta = \frac{L\varepsilon}{R},$$

L étant la self-induction de l'induit ; au lieu de cela, le flux inducteur est fixe et par suite aussi le flux propre de l'induit, malgré sa lente rotation. Dans le flux résultant se meut l'inducteur aux balais duquel on recueille des courants iden-

tiques à ceux engendrés par un induit ordinaire de dynamo à courant continu.

Soient OA, OC, OB les flux de l'inducteur, de l'induit, et le flux résultant, tous fixes dans l'espace, tandis que l'inducteur tourne dans le sens de la flèche (fig. 1) et que les balais sont toujours dirigés suivant OA.

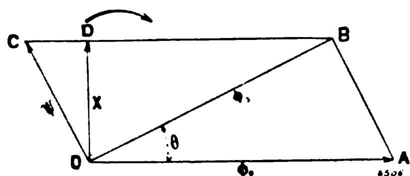


Fig. 1.

Considérons l'inducteur comme se mouvant dans le champ résultant Φ_1 en tenant compte du phénomène analogue à la réaction d'induit des dynamos ordinaires. La projection $OD = X$ de Φ_1 sur la normale à OA donnera la composante active pour la production d'une force électromotrice E dans l'inducteur en mouvement. Si n est le nombre total des spires de l'inducteur, on a

$$E = \frac{n\omega}{2\pi} X = \frac{n\omega}{2\pi} \Phi_1 \sin\theta = \frac{n\omega}{4\pi} \Phi_0 \sin 2\theta \quad (1)$$

$$\Psi = \Phi_0 \sin\theta, \quad (2)$$

avec

$$\sin 2\theta = \frac{2RL\varepsilon}{R^2 + L^2\varepsilon^2}, \qquad \sin\theta = \frac{L\varepsilon}{\sqrt{R^2 + L^2\varepsilon^2}}.$$

D'autre part Φ_0 est lié à l'intensité du courant qui traverse l'inducteur. La courbe représentant E en fonction de l'intensité serait identique à la caractéristique en circuit ouvert d'une dynamo à excitation indépendante et par suite à la caractéristique totale d'une dynamo-série qui n'aurait ni réaction d'induit, ni décalage. Mais tandis que dans la dynamo-série, on modifie E en agissant sur le nombre des spires de l'inducteur, ici on dispose de la variabilité de θ principalement par la résistance R de l'induit.

L'angle θ est l'analogue du décalage dans les dynamos à courant continu.

Etincelles aux balais. — Contrairement à ce qui a lieu avec les dynamos ordinaires, la suppression des étincelles ne peut être obtenue par le déplacement des balais, à la direction desquels les directions des flux sont invariablement liées pour θ constant. En outre, le flux Ψ propre de l'induit (qui est fonction du flux inducteur) est inférieur au flux de l'inducteur Φ_0 tandis que dans les dynamos c'est lui qui prévaut. Les balais dirigés suivant OA, relativement au flux Ψ, sont décalés en avant de la ligne neutre dans le sens du mouvement de l'armature, c'est-à-dire dans le sens qui favorise la suppression des étincelles.

Au moment de la commutation, c'est-à-dire de la mise en court-circuit d'une section, le champ de l'armature et l'armature elle-même se meuvent de conserve, si du moins la largeur du balai n'est pas supérieure à celle d'une lame du collecteur. Le flux Ψ seulement contribue à produire la force électromotrice de renversement. Il suffirait donc d'agir sur la valeur de θ pour éliminer les étincelles, ce qui s'obtient facilement en modifiant R. Mais de cette manière, on modifiera aussi E comme dans une dynamo.

Les équations précédentes (1) et (2) donnent

$$\frac{dE}{E} = \frac{d\Phi_0}{\Phi_0} + 2\cos 2\theta\, d\theta,$$

$$\frac{d\psi}{\psi} = \frac{d\Phi_0}{\Phi_0} + \cos\theta\, d\theta.$$

A une augmentation du débit I correspondra un accroissement de Φ_0 et par suite de E, si θ est constant; si ensuite on augmente θ pour supprimer les étincelles, tant que θ est moindre que $\frac{\pi}{4}$, E augmente contrairement à ce qui a lieu dans une dynamo-série par la réaction d'induit et le décalage croissant. Cette propriété rapproche le dispositif étudié de celui d'une dynamo hyper-compound.

La condition nécessaire pour le fonctionnement de la machine est qu'elle soit traversée par un courant, puisque si $\Phi_0 = 0$, ψ et Φ_1 sont également nuls.

Pour une force électromotrice produite déterminée, les fuites magnétiques sont cause d'une variation du décalage. On peut donc, en favorisant plus ou moins ces dérivations du flux avec des bandes de fer convenablement orientées, influer sur la suppression des étincelles ou sur la valeur de E.

2° *Marche en moteur à courant continu.* — On rend solidaires avec un réducteur de vitesse, l'inducteur et l'induit.

Si l'induit acquiert une vitesse angulaire ε et si K est le coefficient de réduction, l'inducteur aura la vitesse $K\varepsilon = \omega$.

Si on lance alors un courant par les balais, le système devient un moteur présentant une propriété curieuse.

Le moteur ne démarre pas spontanément ; mais si, étant à vide, on donne une petite impulsion à l'endroit qui engrène avec l'inducteur, celui-ci se meut spontanément entraînant l'induit puisque le couple développé est multiplié par le réducteur de vitesse.

Les propriétés électriques, à part le démarrage non spontané, sont celles d'un moteur-série.

Si C est le couple moteur développé dans l'inducteur, on n'utilisera comme force motrice que la partie $C \frac{K-1}{K}$, tandis que le reste $\frac{C}{K}$ accru dans le rapport inverse de la vitesse, tiendra l'induit en mouvement. L'emballement est à craindre comme dans les moteurs-série.

3° *Autres modes de fonctionnement du dispositif.* — On rend l'inducteur fixe et on envoie par les bagues reliées à trois sections à 120° trois courants triphasés. On a ainsi un moteur asynchrone à champ tournant et éventuellement une génératrice asynchrone.

On rend l'induit fixe et on lui envoie un courant continu. L'appareil devient une commutatrice avec ses fonctions multiples : dynamo à courant continu, alternateur polyphasé, moteur à courant continu, moteur synchrone polyphasé, convertisseur de courant continu en courants polyphasés et inversement.

Enfin si on relie l'induit mécaniquement à l'arbre d'un moteur quelconque, tandis que l'on envoie par les bagues un courant continu et si l'on applique un couple à l'inducteur (fermé sur une résistance externe) de manière à empêcher le mouvement, l'appareil constituera un frein pour la détermination de la puissance mécanique avec la méthode Pasqualini. G. Goisot.

DIÉLECTRIQUES

Sur la résistance des diélectriques et sur l'effet d'une force électromotrice alternative sur les propriétés isolantes du caoutchouc ; par A.-W. Ashton. *Phil. Mag.* [VI]. t. II, pp. 501-524.

I. — L'auteur se propose dans ces recherches de préciser :

1° La relation qui existe entre la résistance des différents diélectriques et la force électromotrice à laquelle cette résistance est mesurée.

2° La forme des courbes de la variation du courant avec le temps, si :

a) On charge un condensateur au moyen d'une batterie de force électromotrice donnée.

b) On décharge le condensateur en le réunissant directement à un galvanomètre.

3° L'effet produit sur les propriétés isolantes du caoutchouc par l'application continue d'une forte différence de potentiel alternative.

II. — La question de savoir si les diélectriques peuvent être regardés comme obéissant strictement à la loi d'Ohm a déjà été considérée par plusieurs observateurs, mais il ne semble pas qu'on soit très fixé, à l'époque actuelle, sur cette question. La variation de la résistance d'isolement d'un câble a déjà été examinée par Heim [1] et la méthode employée par ce dernier est celle de la « *déviation directe* » dans laquelle le courant est mesuré par la déviation d'un galvanomètre sensible réuni en série avec une batterie et les armatures du condensateur formé par le câble à examiner. On effectuait les lectures après une ou deux minutes d'électrisation, et ensuite on réunissait ensemble conducteurs interne et externe du câble pendant une ou deux heures, de manière à faire disparaître la charge résiduelle. Heim conclut de ces expériences que les diélectriques examinés s'éloignent assez sensiblement de la loi d'Ohm, la conductibilité observée étant plus grande *aux hauts potentiels*.

Alex. Siemens, dans la discussion d'un mémoire de Preece [2], donne également comme conclusion de ses recherches sur des câbles à différents métaux conducteurs, que dans des limites de force électromotrice assez étendues (de 100 à 1200 éléments Leclanché) la résistance (calculée) du courant devient, après une électrisation d'une minute, plus petite quand la force électromotrice croît.

Leick [3] en étudiant certains diélectriques (guttapercha, paraffine, soufre) a également remarqué un accroissement de conductibilité pour les hauts voltages.

III. — Dans toutes les expériences précédentes, la résistance des diélectriques examinés a été calculée d'après les valeurs du courant obtenu après quelques minutes d'électrisation. Malheu-

(1) *Electrician*, t. XXV, p. 751.

(2) *Journal Institute of Electrical Engineers*, déc. 1890.

(3) *Wied. Ann.*, n° 13, 1898.

reusement ces valeurs du courant sont celles qui sont le plus affectées par le traitement électrique précédent des diélectriques. Ayrton et Perry dans un des mémoires « sur la viscosité des diélectriques » (1) concluent qu'on obtient des valeurs plus précises de la conductibilité vraie d'un diélectrique en effectuant les lectures après que le courant est devenu constant, et ils citent des expériences faites en employant cette méthode pour préciser la valeur de la conductibilité à des voltages différents. Les mêmes auteurs attirent l'attention sur l'analogie qui existe entre la propriété des surfaces soumises à une pression mécanique et celle des diélectriques soumis à des pressions électriques, et ils ajoutent finalement qu'on peut tracer une distinction nette entre la partie de l'énergie absorbée par le diélectrique, qui est récupérable, et entre la portion d'énergie qui est convertie en chaleur et qui détermine la valeur de la conductibilité vraie qui en résulte.

En ce qui concerne la forme des courbes de « charge résiduelle », elle a déjà été étudiée dans le cas du verre par Hopkinson (2). Dans ces expériences le condensateur était chargé pendant un temps défini et déchargé ensuite instantanément. Après quoi on réunissait les plaques du condensateur à un électromètre et on lisait de temps en temps le potentiel résiduel. Hopkinson trouve entre autres que ce potentiel résiduel est proportionnel au potentiel de charge.

IV. — Les recherches de M. Ashton portent sur le caoutchouc, le papier paraffiné et le mica.

Les effets de charge résiduelle ont été examinés au moyen de courbes du courant quand le condensateur est chargé avec une batterie en série avec un galvanomètre, et quand le condensateur est déchargé en le réunissant directement à un galvanomètre.

Le caoutchouc étudié est constitué de trois variétés différentes de feuilles de caoutchouc appelées n° 1, 2, et 3, et d'un câble « Okonite ».

Le n° 1 est une feuille de caoutchouc de 0,068 cm d'épaisseur qui est en apparence plus foncé et bien moins transparent que le « para ». Il se déchire bien plus aisément que le plus pur caoutchouc et il est moins tenace; à la longue il devient complètement dur et presque cassant.

(1) *Proc. Roy. Soc.*, t. XXXVII.

(2) *Phil. Trans.*, t. CLXVI et t. CLXVII.

Le n° 2 est une feuille de caoutchouc « para » pur ayant 0,051 cm d'épaisseur, très transparent et très tenace, gardant ces propriétés pendant plus de deux ans.

Le n° 3 était une feuille de caoutchouc vulcanisé de 0,093 cm d'épaisseur.

Le câble examiné mesurait 0,423 cm de diamètre et 841,21 m de longueur; il était recouvert jusqu'à 0,528 cm de diamètre avec une couche de caoutchouc vulcanisé et il était en outre couvert à l'extérieur d'une tresse imprégnée.

La feuille de caoutchouc était employée pour faire des condensateurs en fixant sur chacune de ses deux faces, au moyen d'une solution de caoutchouc dans de la benzine pure, une feuille de papier d'étain de 15,25 cm sur 20,31 cm. Chaque condensateur ainsi fabriqué fut serré entre deux plaques de verre, en laissant libres deux languettes de papier d'étain qui servaient pour amener le courant. La surface des plaques de verre fut enduite de gomme laque de manière à ne pas avoir de pertes par suite de la condensation de l'humidité sur le verre.

Le condensateur à feuille de papier paraffiné était formé de 4 feuilles de papier paraffiné de 25,4 cm. sur 20,31 cm. alternant avec cinq feuilles d'étain et le tout était serré entre deux plaques de verre. On mettait ensuite ce système entre deux plaques lourdes de fer chauffées à 85° C. de manière à faire couler l'excès de paraffine.

Le mica employé pour la construction des condensateurs était transparent et coupé en feuille de 6,26 cm $\times$ 11,4 cm. On a essayé d'argenter ces plaques de mica, mais on n'a pu obtenir des résultats sérieux. Sur 30 plaques argentées on n'a, en effet, pu en trouver qu'une seule qui puisse donner des déviations constantes pour une charge obtenue avec une batterie de 100 volts.

On a donc encore eu recours au papier d'étain qui a été coupé en feuilles de 3,8 cm $\times$ 8 cm et appliqué sur ces plaques de mica par simple pression au moyen de deux plaques en laiton boulonnées. Le nombre de plaques de mica ne dépassait pas 13 et leur épaisseur variait de 0,0022 cm à 0,0025 cm.

V. — Les mesures de courants furent faites au moyen d'un galvanomètre astatique de Lord Kelvin dont la résistance était de 6057 ω et qui était pourvu d'un shunt. La force électromotrice

de la batterie de piles employée était mesurée par un voltmètre de Weston, qu'on a ensuite remplacé par un voltmètre électrostatique de Lord Kelvin, à cause des perturbations dans la force électromotrice de la batterie, remarquée en employant le premier instrument. La batterie, le condensateur et le galvanomètre étaient réunis à un commutateur à trois contacts. Le galvanomètre était étalonné au moyen d'un potentiomètre de Crompton et de boîtes étalons de résistance.

Le câble était immergé dans un réservoir d'eau de 7,6 × 7,6 × 6,2 cm de capacité et ses deux bouts étaient reliés à un commutateur à 4 godets remplis de mercure.

Deux des godets de ce dernier étaient occupés par les deux extrémités du câble et les deux autres étaient réunis à un pont de Wheatstone, de sorte qu'on pouvait mesurer la résistance du conducteur pendant l'expérience. La quantité d'eau contenue dans le réservoir était suffisante pour que sa variation de température ne dépasse jamais 0°2 C. pendant un jour ; la résistance du conducteur de cuivre variait de moins de 0,2 p. 100 dans le courant d'une journée.

On a considéré comme température du diélectrique la moyenne entre la température de l'eau et celle du conducteur de cuivre.

En ce qui concerne les expériences avec le mica et le papier paraffiné, on n'a pas pris de précautions spéciales pour assurer la constance de la température pendant la durée d'une expérience, ou mesurer la température actuelle du diélectrique ; car ces expériences n'ont été faites que dans l'intention de voir si les équations trouvées pour le câble (ou une forme analogue à celles-là), sont capables de satisfaire à la forme des courbes de charge et décharge de ces diélectriques.

VI. — Pour déterminer la variation de résistance avec le voltage on réunissait au voltmètre une batterie de piles juste suffisante pour donner un courant qui puisse être apprécié sur l'échelle divisée et on complétait ensuite le circuit à des intervalles de temps donnés en introduisant le circuit contenant le condensateur et le galvanomètre. On notait la déviation du galvanomètre à la fin de la première minute et on continuait ensuite les lectures à des intervalles plus espacés.

On a trouvé qu'au commencement le courant décroît rapidement, mais si l'électrisation a été prolongée pendant une heure, il devient approximativement constant, et cela particulièrement pour le cas d'un condensateur à feuilles de caoutchouc pur. On élève ensuite la tension ; on continue l'électrisation jusqu'à ce que le courant devienne de nouveau constant ; on recommence à élever la tension et ainsi de suite pour 4 ou 5 tensions différentes, après quoi on peut dresser la courbe de la variation de la résistance avec le voltage en portant les résistances trouvées en ordonnées et les voltages correspondants en abscisses. On peut d'ailleurs commencer par un voltage quelconque, l'augmenter progressivement jusqu'à un maximum et le diminuer de même.

VII. — Pour déterminer la forme des courbes de charge et de décharge du câble, on a effectué trois lectures correspondant à trois périodes différentes de l'électrisation et en mettant le conducteur en cuivre au sol successivement après chaque charge. On a ainsi pu obtenir une série de courbes de décharge après 5, 10, 40 minutes de charge, la température et la différence de potentiel charge restant constantes (du moins pratiquement). On conduisait ces expériences de la manière suivante : on commençait d'abord par mettre le câble en court-circuit pendant toute la nuit qui précédait les expériences et on mesurait ensuite la température en déterminant les résistances du câble et du thermomètre en cuivre qui flottait dans le réservoir à eau ; on déterminait la force électromotrice de la batterie de piles employée pour la charge en employant le voltmètre électrostatique de Lord Kelvin ; on chargeait le câble pendant cinq minutes et on agissait ensuite immédiatement sur la clef de décharge, le galvanomètre étant mis en court-circuit pendant les quinze premières secondes de la décharge. On obtenait en général des déviations constantes après quarante secondes et ce sont ces déviations qu'on notait en chronométrant les moments où le spot du galvanomètre atteint successivement les divisions de l'échelle jusqu'à ce que la déviation tombe à 1 cm seulement. On étalonnait ensuite le galvanomètre pour chacune de ces déviations et on notait enfin la température et le voltage de la batterie. On répétait ces manipulations après deux heures et pour une charge de dix minutes et finalement après deux heures et demie pour quarante mi-

nutes, et pour cent-vingt minutes de charge. On avait ainsi une série de déviations correspondant à la décharge et après cinq, dix, vingt, quarante et cent-vingt minutes de charge à un potentiel de 200 volts et à une température pratiquement constante. Dans ces expériences on mesurait le courant pendant l'électrisation ; mais on a effectué aussi des expériences dans lesquelles l'électrisation était continuée pendant un temps inférieur au précédent en vue de préciser les équations représentant le courant de charge.

La même méthode fut employée avec les condensateurs à lames de mica et à papier paraffiné.

VIII. — Les courbes 1 ont été obtenues par la méthode décrite dans le n° VI et avec un condensateur à lames de caoutchouc n° 1 (voir précédemment). Elles représentent la variation de la

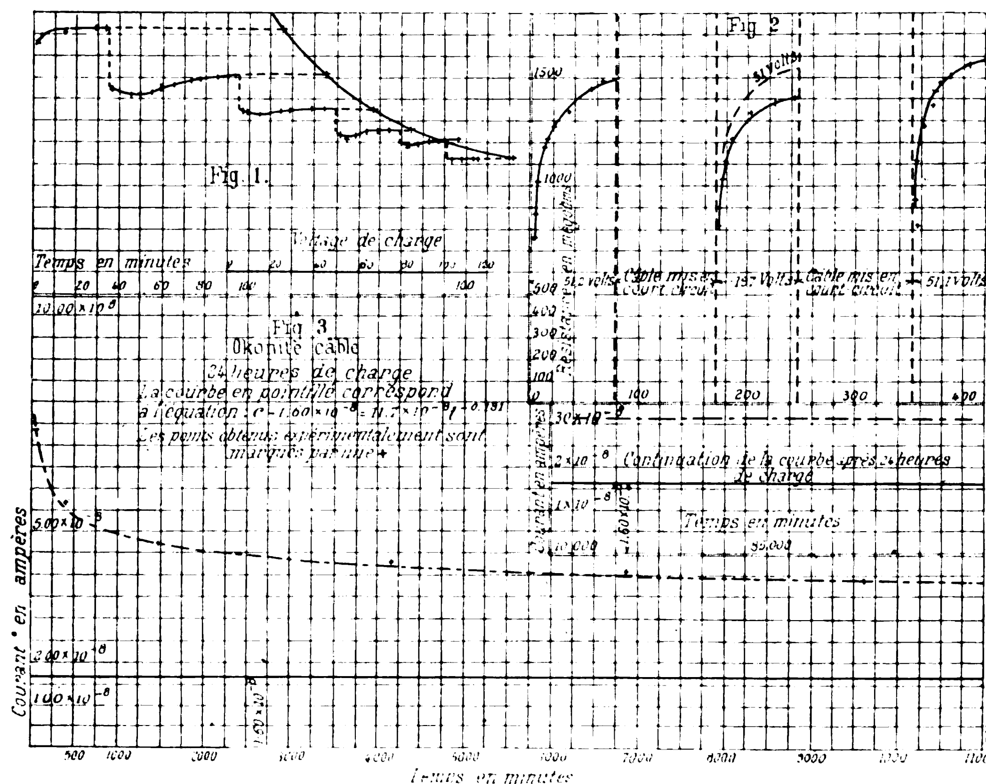


Fig. 1 à 3.

résistance avec le voltage. On y remarque facilement que ce diélectrique présente un affaiblissement considérable de sa résistance quand le voltage est accru.

On a alors essayé d'obtenir des courbes semblables de résistance avec le câble d'okonite. Dans une première série d'expériences, on a employé 5 voltages différents compris entre 52 et 249 volts. Après 75 minutes d'électrisation sous 52 volts, la résistance montra une augmentation de $\frac{1}{6}$ p. 100 et par minute. En élevant le voltage à 100 volts et après 70 minutes d'électrisation cette augmentation correspondait à $\frac{1}{12}$ p. 100 par minute et jusqu'au plus haut voltage cette variation ne dépasse pas $\frac{1}{24}$ p. 100 par minute.

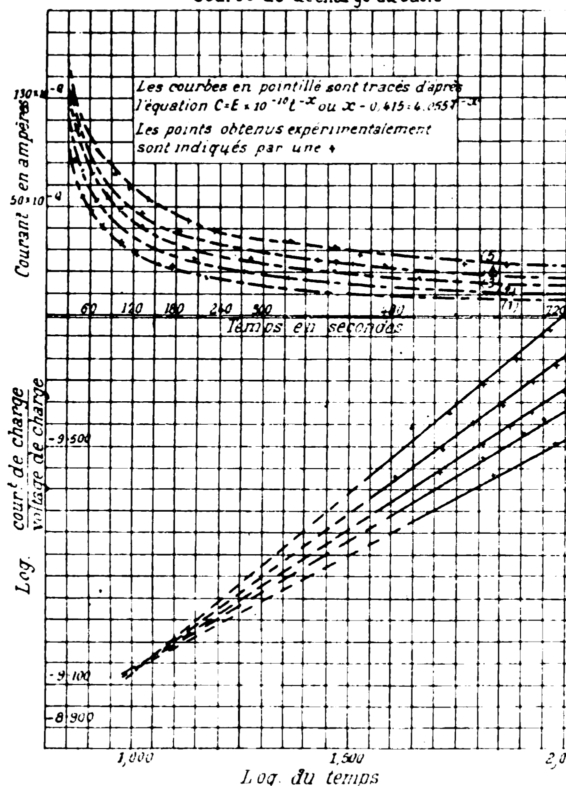
Il est en outre à remarquer que les résistances constantes ne doivent pas différer beaucoup aux premiers 4 voltages, mais au plus haut voltage, 249 volts, la résistance montre une diminution de 1 1/2 p. 100.

Les graphiques 2 servent à comparer les courbes de la variation de résistance avec le temps à 51,1 volts et 197,4 volts. On a effectué deux séries de lectures à 51 volts, une avant l'emploi des 197 volts et l'autre après, le câble étant mis en court-circuit pendant une heure trois

quarts après chaque expérience. On remarque facilement sur ces graphiques que les résistances correspondant à l'emploi du courant de 51 volts sont plus élevées que celles obtenues avec 197 volts.

En faisant croître le voltage successivement jusqu'à son maximum et en le faisant ensuite diminuer dans les mêmes conditions, on remarque qu'en abaissant le voltage de 197 à 121 on obtient, après une heure, une résistance approximativement constante (1 536 mégohms) qui est plus élevée que celle obtenue (1 329 mégohms) en faisant croître le voltage.

Pour déterminer la courbe de charge on replace le câble dans le réservoir à eau et on y maintient le voltage pendant vingt-quatre heures



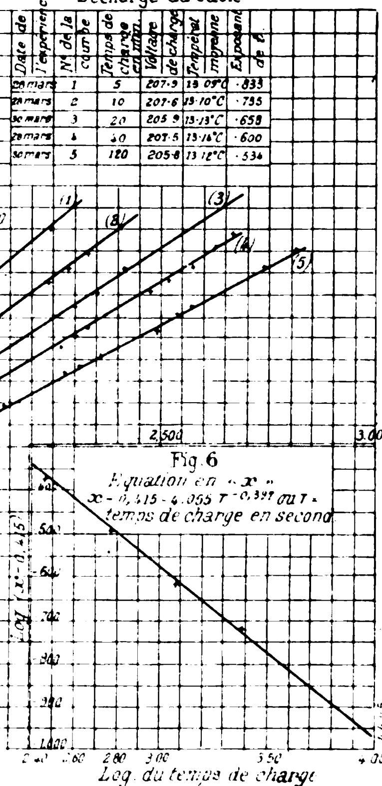


Fig. 3 à 6.

après quoi on étudie le courant de décharge. Les résultats obtenus sont reproduits par les graphiques 3 et 7. On y remarque assez clairement que les valeurs observées du courant de charge tombent très approximativement sur la courbe en pointillé tracée suivant l'équation.

$$c - 1{,}60 \times 10^{-8} = 11{,}7 \times 10^{-8}\, t^{-0.181}$$

qui a été déterminée en supposant une valeur probable pour la constante à soustraire des lectures du courant.

Si la valeur supposée est trop grande, la courbe $= \log(c$ — une constante) est concave à l'origine et *vice versa*; la valeur exacte de la constante réduit la courbe à une droite

Si l'on remplace les logarithmes du courant de décharge par les logarithmes du temps écoulé pendant que le câble a été mis en court-circuit, les points tombent sur la ligne droite.

$$\log c = -8{,}060 - 0{,}343 \log t$$

Le courant de décharge peut donc être représenté par l'équation

$$c = 87{,}1 \times 10^{-8}\, t^{-0{,}343}.$$

dans une des expériences le câble fut chargé pen-

dant 20 minutes sous 104 volts et on effectuait ensuite des lectures pour le courant de décharge. Dans une autre expérience le voltage fut de 206 volts, le temps de charge et la température étant les mêmes que dans l'expérience précédente. Les résultats de ces expériences sont reproduits par le graphique 8. Une autre série d'expériences où la température restant constante, le voltage variait de 1 p. 100 et le temps de charge de 5 à 120 minutes, donne le graphique 4 où on voit que les points obtenus au moyen des données de ces expériences tombent sur les droites passant par le point

$$\log \frac{c}{E} = -9{,}000,$$
$$\log t = 1{,}040.$$

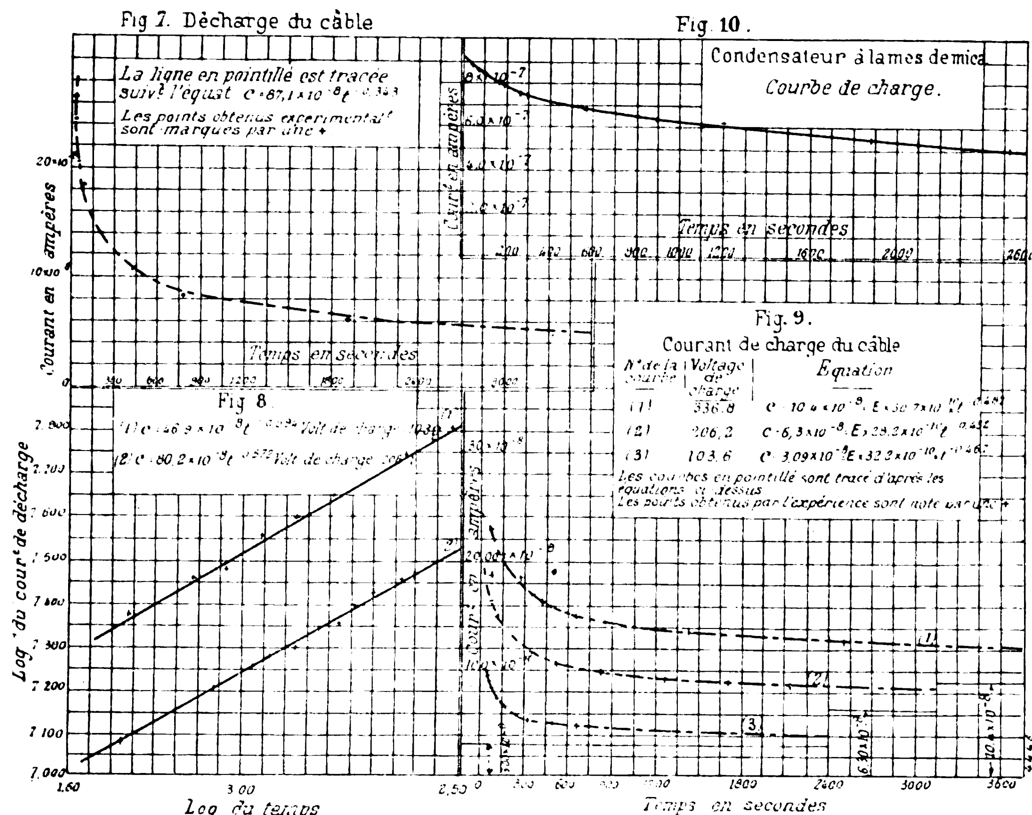


Fig. 7 à 10.

Les points tombent donc sur les droites définies par

$$\log \frac{c}{E} + 9{,}000 = -x(\log t - 1{,}040)$$

et les valeurs du courant de décharge sont données par l'équation

$$\frac{c}{E} = 10 \times 10^{-10} \left(\frac{t}{10{,}96}\right)^{-x}$$

où C est le courant de décharge, E le voltage t temps écoulé depuis le commencement de la décharge.

Les valeurs de l'exposant x donnent une ligne droite si $\log(x - 0{,}415)$ est posé pour log T et l'équation donnant x est, dans ces conditions,

$$x - 0{,}415 = 4{,}055 T^{-0.397}$$

T étant le temps de charge, en secondes.

En substituant dans ces deux équations le temps de charge et le voltage de charge correspondant à chaque expérience, on obtient les cinq courbes (graph. 5) et les points actuellement obtenus suivent rigoureusement ces courbes.

Dans le tableau I, on donne les valeurs trouvées du courant pour 3 décharges; le voltage de charge étant de 104 volts et la température constante. Le courant est alors donné par l'équa-

tion

$$\frac{c}{E} = 11,64 \times 10^{-10} \left(\frac{t}{8,65}\right)^{-x}$$

où

$$x - 0,43 = 6,22\,T^{-0.800}$$

TABLEAU I

CHARGE DE 5 MIN.		CHARGE DE 10 MIN.		CHARGE DE 40 MIN.	
Temps en sec.	Courant en amp. $\times 10^{-8}$	Temps en sec.	Courant en amp. $\times 10^{-8}$	Temps en sec.	Courant en amp. $\times 10^{-8}$
37	3,80	46,5	3,80	40	5,15
49,5	3,04	59	3,25	52,5	4,39
57,5	2,60	71	2,87	67	3,83
70,5	2,30	85	2,49	81	3,45
86,5	1,955	96	2,31	100,5	3,07
		108	2,12	112	2,88
		125	1,94	127	2,69
				143	2,50
				163	2,32
				189	2,13
Voltage de charge = 103,6 Température = 13°83 C					

Ces équations sont semblables, quant à la forme, à celles obtenues par les expériences figurant sur le graphique 5.

Le graphique 9 donne les lectures obtenues en chargeant le câble à 104, 206, 337 volts.

Les équations obtenues sont les suivantes:

(à 104 volts) $c - 3,90 \times 10^{-8} = E \times 32,2 \times 10^{-10}\, t^{-0.461}$
(à 206 —) $c - 6,30 \times 10^{-8} = E \times 28,2 \times 10^{-10}\, t^{-0,522}$
(à 337 —) $c - 10,4 \times 10^{-8} = E \times 30,7 \times 10^{-10}\, t^{-0.485}$

Les valeurs du rapport de la partie constante du courant de charge au voltage de charge, sont :

(à 104 volts) 3 320 mégohms
(à 206 —) 3 270 —
(à 337 —) 3 240 —

Ces valeurs sont donc approximativement les mêmes pour les trois voltages. Malheureusement une comparaison exacte n'est guère possible, vu la différence de température dans le câble.

X. Les résultats obtenus avec le condensateur à lames de mica sont donnés par le graphique 10. Ici on voit que le courant peut être exprimé par une fonction du temps, où ce dernier entre par un exposant. L'exposant de t est — 1,55 pour 60 minutes de charge et — 0,98 pour 120 minutes de charge. Les lectures du courant pendant la charge sont représentées sur le graphique 10. Il n'a cependant pas été possible de représenter le courant de charge dans le cas du condensateur à lames de mica, par des équations de forme analogue à celles obtenues avec le câble.

Pour le condensateur à papier paraffiné, le courant de charge est, au contraire, donné dans chaque cas par une équation de forme analogue à celles obtenues avec le câble; quant aux lectures correspondant à la décharge, elles satisfont à une équation de la forme

$$c = Kt^{-x}.$$

La valeur de x étant 0,846 après 20 minutes de charge dans le premier cas et 0,849 dans le second.

XI. Des premières expériences effectuées avec le caoutchouc pur en vue de déterminer la variation de la résistance avec le voltage de charge, il résulte que le courant devient constant après une ou deux heures d'électrisation et que par conséquent les courbes de résistance à différents voltages peuvent coïncider vers leur fin; mais dans le cas du câble cela ne peut pas se passer, car le courant, même après quelques heures d'électrisation, ne devient pas constant. Par conséquent les valeurs finales de la résistance à chaque voltage, obtenues en accroissant le voltage petit à petit, ne peuvent pas être considérées comme une mesure de la conductibilité vraie du diélectrique. Le graphique 2 montre très clairement que le courant n'est pas exactement proportionnel au voltage. Si nous prenons la moyenne des deux courbes obtenues avec un voltage de charge de 51 volts et si nous la comparons à celle obtenue avec une charge à 197 volts, nous trouvons entre les résistances correspondantes une différence de 8 p. 100 (qui est plus forte pour 51 volts que pour 147 volts).

XII. Des expériences ultérieures sur le câble et le condensateur à papier paraffiné ont montré que le courant de charge peut être représenté par une équation de la forme

$$c - c_0 = Kt^{-x}$$

où c = courant de charge, K et x des constantes; t = le temps en secondes écoulé depuis que l'électrisation a été commencée.

Si t est très grand, $t^{-x} = 0$ et le courant devient constant et égal à c_0. Ce courant constant c_0 peut par suite être un véritable courant de conduction, pendant que la partie variable Kt^{-x} peut représenter l'énergie qui est absorbée lentement par le diélectrique, et rendue ensuite quand on met le condensateur en court-circuit.

D'après cette hypothèse nous pouvons appeler la vraie résistance du diélectrique le rapport du voltage de charge à c_0.

Cette résistance, cependant assez élevée — 9 520 mégohms — après que le câble a été plongé dans l'eau pendant dix-sept jours, est tombée à 3 340 mégohms après quatre mois et demi d'immersion. Dans les expériences dont les résultats sont portés sur les graphiques 2, le courant de décharge est donné par des équations de la forme,

$$c = KE\left(\frac{t}{K_1}\right)^{-x}$$

E = voltage de charge,
t = temps en secondes écoulé depuis le commencement de la décharge
K, K_1 des constantes.

L'exposant x varie avec le temps de charge et est donné par une équation de la forme

$$x - X = K_2 T^{-z}$$

T = temps de charge en secondes, X, K_2, Z des constantes.

Si le temps de charge est très grand, $K_2 T^{-z} = 0$ et $x = X$, car X est la valeur de l'exposant quand la charge est continuée jusqu'à ce que le courant devient constant. Les équations de plus haut ont été trouvées être conformes pour la décharge correspondant à T = environ 35 secondes jusqu'au moment où le courant tombe à 2×10^{-8} ampères qui est le plus petit courant qui soit accusé avec quelque précision par le galvanomètre. Il ne semble pas probable que ces équations soient conformes pour la première moitié de minute de la décharge, car, s'il en était ainsi, les courbes de décharge seraient perpendiculaires les unes aux autres quand T = 8 à 12 secondes. Il paraît plus probable que si on pouvait obtenir des lectures de courants de décharge de quelques secondes après la décharge, les cinq lignes pointillées de la figure 8 tendraient, au lieu de passer par un point, à se confondre dans une ligne.

XIII. Le tableau II donne un aperçu des quantités absorbées et déchargées par le câble pendant deux jours. Les quantités absorbées ont été calculées en intégrant les équations du courant pour toute la période pendant laquelle le câble a été mis en court-circuit. Les quantités absorbées ont été calculées dans l'hypothèse que la partie variable du courant de charge représente l'énergie accumulée dans le diélectrique. On voit que la quantité déchargée est dans chaque cas plus grande que la quantité absorbée pendant la charge correspondante. Par conséquent, si les hypothèses faites sont correctes, les diélectriques en expérience doivent, sur la somme, avoir déchargé deux fois la quantité absorbée.

D'un autre côté, il peut se faire que toute l'énergie représentée par le courant constant ne soit pas convertie en chaleur pendant la première période d'électrisation; jusqu'à c_0. La discordance apparente peut encore être expliquée par le fait que le traitement précédent du diélectrique avait résulté de l'accumulation d'une somme comparativement grande d'énergie qui est actuellement rendue pendant que le câble est mis en court-circuit, et augmente les quantités déchargées. En lien avec cette hypothèse, il a déjà été trouvé que les diélectriques qui, en tant que l'on pourrait être assuré n'ont jamais été soumis à la tension électrique, ont encore donné quand ils ont été réunis à un voltmètre électrostatique une force électromotrice de l'ordre de 20 volts (Electrisation des diélectriques par des moyens électriques, *Phil. mag.*, août 1901). L'énergie existant ainsi comme tension électrique dans le diélectrique n'est rendue que très faiblement, surtout si le condensateur ne se trouve pas mis en court-circuit. Et il semble alors possible que la contradiction notée entre les quantités absorbées et rendues par le câble puisse être expliquée. La détermination de la conduction vraie à travers un diélectrique se ramène elle-même à la recherche du rapport de transformation en chaleur de l'énergie électrique pendant un instant de l'électrisation. La valeur du courant de conduction après prolongement d'électrisation sera donné par la constante c_0, en supposant les équations de plus haut comme exactes quand le temps de charge est très grand. On pourrait considérer que le rapport de conversion des chaleurs est proportionnel au rapport de production de ten-

sion des diélectriques (voir Ayrton et Perry, Sur la viscosité des diélectriques, *Proc. Roy. Soc.* t. XXXVI) : de là il suivra que le vrai courant de conduction est plus grand que c_0 au commencement de l'électrisation, mais qu'il décroît jusqu'à cette valeur quand l'électrisation augmente.

XIV. *Expériences avec une force électromotrice alternative*. — On a employé un condensateur à lame diélectrique en caoutchouc pur; qui a été désigné par le n° 1 au commencement de cette analyse. Sous l'influence d'un courant alternatif de 2 000 volts on remarque que la feuille de caoutchouc commence à se décomposer et si l'on se trouve dans une chambre obscure on aperçoit des aigrettes lumineuses autour du contour des feuilles d'étain qui sont appliquées de part et d'autre de la feuille de caoutchouc.

On a employé dans ces expériences une série de cinq condensateurs que nous désignerons par les lettres A B C D E, pour la commodité du langage; le courant alternatif a toujours été de 2 000 volts. Dès qu'on s'apercevait que la feuille de caoutchouc venait d'être percée on enlevait le papier d'étain qui se trouvait autour du petit trou et on réunissait de nouveau le condensateur au transformateur alternatif.

Le tableau II nous donne une idée des résultats obtenus :

TABLEAU II

CONDENSATEUR	BORDS gommelaqués ou non	NOMBRE d'heures de l'application du cour. alternat.	TOTAL des accidents arrivés	REMARQUES
A	gommelaqués	1 200	1	Pas de décharge aux bords de l'étain
B	id.	1 230	0	»
C	non gommelaqué	270	7	Déch. considérable aux bords de l'étain
D	id.	1 300	3	D. aux b. de l'étain
E	id.	7 200	10	»

XV. Ces expériences ont été continuées à Londres avec 2 600 volts de courant alternatif et une fréquence correspondant à 100 et 50 pulsations par seconde. La résistance de chaque condensateur était mesurée *avant* et *après* que ce dernier était réuni au transformateur alternatif.

TABLEAU III

CONDENSATEUR	QUALITÉ du caoutchouc	NOMBRE d'heures de l'application du cour. alternat.	EFFET DU COURANT ALTERNATIF — Résistance	Nombre d'accidents	Effet général	RÉSULTAT du traitement par l'ozone pendant 5 minutes
F	Caoutchouc n° 1 (pur)	3 000	Accroissement de 149 Ω à 14 000 Ω	0	Pas de décoloration	Pas d'attaque apparente
G		3 000	Accroissement de 1 900 Ω à 200 000 Ω	2		
H		937	Accroissement de 167 Ω à 1 900 Ω	1	»	
K L M	Caoutchouc n° 2 (pur para)	Environ 60	Toujours très élevée	Toujours des accidents	Faible décoloration	violemment attaqué
N	n° 3 (vulcanisé)	Environ 60	Toujours très élevée	Toujours des accidents	Faible décoloration	Faiblement attaqué

Le tableau III donne les résultats d'une série d'expériences faites avec un courant alternatif de 2 600 volts. Il se dégage assez clairement de ce tableau que la résistance croît continuellement.

Quant aux décompositions chimiques, le diélectrique ne paraît pas souffrir beaucoup de ce régime; il devient un peu plus dur et il perd un peu de son élasticité.

La résistance des condensateurs K, L, M était très élevée : environ 200 000 mégohms; après trois jours de régime alternatif ils furent tous abîmés et on remarquait une décoloration superficielle du caoutchouc dans le voisinage des bords du papier d'étain.

Le condensateur X fut soumis à 2 400 volts alternatifs, la lame diélectrique était constituée par du caoutchouc vulcanisé n° 3; on a eu même résultat qu'avec les autres condensateurs. Pour s'assurer si c'est l'ozone qui pourrait produire la décomposition du caoutchouc, on a essayé l'action de l'ozone sur les feuilles de caoutchouc ; le résultat est donné dans le tableau III.

XVI. Mais, pour mieux s'assurer que c'est l'ozone qui produit la décoloration observée, on a construit des condensateurs dans lesquels la lame de caoutchouc n'était pas en contact direct avec le papier d'étain, mais isolée de ce dernier por des lames de verre ou de mica. Ajoutons qu'on a toujours remarqué une décoloration autour des bords de la lame de caoutchouc.

XVII. Il résulte donc de ces recherches que le caoutchouc « Para » généralement employé dans la manufacture des câbles est plus facilement attaqué par l'ozone ou autres gaz qui prennent naissance lors de l'action d'un courant alternatif dans l'air, que le caoutchouc appelé n° 1. Ce dernier, soumis pendant trois mille heures à 50 000 volts alternatifs ne montre pas de décoloration. Seulement le fait que cette dernière variété de caoutchouc devient dure et perd son élasticité, ne la rend pas apte à être employée pour la confection des câbles.

XVIII. Les conclusions auxquelles l'auteur de ce mémoire est conduit par suite des expériences que nous venons de résumer sont les suivantes :

1° Dans le cas du câble étudié, le courant croît pendant les premières heures d'électrisation avec la différence de potentiel.

2° Que cela ne prouve nécessairement pas que le diélectrique ne suit pas la loi d'Ohm, puisque le courant de conduction peut être considérablement plus petit que le courant totai ; à moins que l'électrisation soit continuée pendant très longtemps.

3° Que dans le cas du câble étudié et du condensateur à papier paraffiné, le courant de charge est une fonction (à exposant) du temps qui s'est écoulé depuis le commencement de l'électrisation et qu'il peut être superposé à ce courant un courant de vraie conduction.

4° Que pour le câble en question et pour les condensateurs à lames de mica et de papier paraffiné, le courant de décharge est une fonction (à exposant) du temps qui s'est écoulé depuis le commencement de la décharge ; le (courant pour une valeur particulière de la force électromotrice de charge et avec un temps de charge variable) étant donné, dans le cas du câble par des équations de la forme :

$$c = K\left(\frac{t}{K_1}\right)^{-x}$$

où $x - K = K_2 T^{-z}$; t = temps en secondes depuis le commencement de la décharge; T = temps de charge en secondes; K, K_1, K_2 et z sont des constantes.

5° Qu'il n'y a détérioration des propriétés isolantes du caoutchouc que dans le cas du caoutchouc « para pur » et elle paraît être due, non pas à un effet du courant alternatif sur le caoutchouc même, mais plutôt à une action chimique ayant lieu entre le caoutchouc et les gaz produits par l'action du courant alternatif sur l'air.

Eugène Néculcéa.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 3 février 1902

Recherche des ondes hertziennes émanées du soleil, par **Charles Nordmann**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 273-275.

Cette recherche a été faite en septembre dernier, à la station des Grands-Mulets (Mont-Blanc, 3 100 m d'altitude). Une antenne horizontale de 175 m de longueur était disposée sur le glacier des Bossons [1], sur des supports

[1] Le choix d'un glacier comme support de l'antenne

isolants en bois, de façon que, vers midi, les rayons solaires tombassent normalement sur elle. Une de ses extrémités aboutissait à un radioconducteur [1] très sensible, en série avec un élément Leclanché et un galvanomètre Deprez-d'Arsonval. Ce radioconducteur était placé dans une cuvette que l'on remplissait de mercure, pour effectuer le réglage du radioconducteur ; le mercure formait une enceinte opaque aux ondes hertziennes extérieures, soit directes, soit amenées par l'antenne, celle-ci n'étant pas isolée du mercure. Une fois le réglage effectué, on faisait écouler doucement le mercure par un robinet.

Dans ces conditions, aucune déviation du galvanomètre n'a pu être observée [2]. Aussi M. Nordmann conclue-t-il que « le soleil n'émet pas de radiations électriques se propageant le long des fils, et capables d'impressionner les radioconducteurs, ou que, s'il en émet, elles sont complètement absorbées par son atmosphère et les parties supérieures de l'atmosphère terrestre.

« Ce résultat, ajoute-t-il, est conforme à ce qu'on pouvait prévoir ; les gaz très raréfiés absorbent en effet énergiquement les ondes hertziennes, et le but de mes expériences était de rechercher si une partie des oscillations électriques qui peuvent émaner du soleil n'échappent pas à l'absorption que doivent exercer sur elles les couches supérieures raréfiées des atmosphères solaire et terrestre. »

Variation de la force électromotrice et du coefficient de température de l'élément Daniell avec la concentration du sulfate de zinc, par **J. Chaudier**, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 277-279.

L'auteur a étudié cette variation pour des solutions de sulfate de zinc dans l'eau distillée, depuis la saturation jusqu'à zéro, et pour les températures comprises entre 5° et 20°. La solution de sulfate de cuivre était toujours saturée ; la détermination des forces électromotrices était faite au 1/000e de volt, par la méthode de compensation, avec le dispositif de M. Bouty.

L'élément était constitué par deux vases en verre contenant l'un la solution de sulfate de zinc, l'autre la solution de sulfate de cuivre ; ces deux vases étaient réunis par un siphon formé d'un tube de verre rempli de coton, imbibé de la solution de sulfate de zinc dans l'une des branches, de la solution de sulfate de cuivre dans l'autre.

Les valeurs de la force électromotrice à 15° et du cofficient de température pour diverses concentrations du sulfate de zinc sont inscrites dans le tableau ci-dessous :

Sulfate de zinc p. 100 d'eau.	Force électromotrice e du Daniell à 15°. volt.	Coefficient de température $\frac{de}{dt}$. volt.
0	1,0590	— 0,0024
$\frac{1}{12}$	1,1128	— 0,00015
$\frac{1}{6}$	1,1151	— 0,00013
$\frac{1}{2}$	1,1368	+ 0,00005
1	1,1331	+ 0,00005
2	1.1263	+ 0.0003
4	1,1249	+ 0,0003
6	1.1208	+ 0,00016
10	1,1188	— 0,00003
30	1,1054	— 0,0002
60	1,1003	»
200 (ou saturation)	1,0902	+ 0,00026

I. On en deduit les conclusions suivantes :

1° En partant de la saturation, la force électromotrice d'un Daniell croît quand la concen-

était d'une grande importance. Le glacier peut, en effet, être considéré comme un isolant à peu près parfait (ainsi qu'il résulte notamment des expériences télégraphiques exécutées ces dernières années au mont Blanc sous la direction de M. Janssen), et comme tel il est transparent aux ondes hertziennes ; comme, d'autre part, l'épaisseur du glacier à l'endroit où était placée l'antenne peut être (d'après la profondeur des crevasses qui s'y trouvent) estimée à au moins 25 m et que les rayons solaires étaient, au moment des expériences (équinoxe d'automne), très inclinés sur la verticale, il en résulte qu'une grave cause d'erreur possible, provenant d'une interférence entre les ondes solaires directes et les ondes réfléchies par le sol conducteur, était complètement éliminée.

(1) L'un de ces radioconducteurs était à limaille de nickel, et d'une sensibilité telle que la simple mise en marche d'une sonnerie ordinaire munie de deux éléments Leclanché suffisait, à plus de 4 mètres de distance, à faire dévier la tache lumineuse du galvanomètre de plus de 100 divisions sur l'échelle placée à 1 m ; l'autre, également très sensible à ce réglage, était constitué par 30 petites billes d'acier disposées en contact dans un tube de cristal calibré du même diamètre qu'elles.

(2) En 1896, MM. Wilsing et Scheiner ont constaté qu'en faisant tomber les rayons solaires réfléchis par un héliostat sur un fil d'acier posé sur deux fils parallèles, la résistance de ce système ne variait pas.

tration du sulfate de zinc diminue, passe par un maximum pour une solution à 1/2 p. 100, puis décroît pour des concentrations plus faibles ;

2° Le coefficient de tempértaure, d'abord négatif, croît et s'annule pour une concentration comprise entre 7 p. 100 et 8 p. 100, ainsi que l'a indiqué Helmholtz ; mais, après avoir atteint un maximum positif, il décroît et s'annule de nouveau pour une solution de sulfate de zinc à 1/2 p. 100. Au delà, il continue à décroître quand la concentration diminue ;

3° L'élément Daniell fournit un étalon de force électromotrice indépendant de la température, quand il est constitué par une solution de sulfate de cuivre saturée et une solution de sulfate de zinc, soit à 7,5 p. 100, soit à 1/2 p. 100.

II. On peut appliquer à ces résultats expérimentaux la formule de Nernst :

$$e = KT\left(\log\frac{P}{p} - \log\frac{P'}{p'}\right) + T\frac{de}{dT},$$

où P et P' représentent les tensions de dissolution du zinc dans le sulfate de zinc et du cuivre dans le sulfate de cuivre ; p représente la pression osmotique des ions-zinc et p' celle des ions-cuivre. K est une constante, T la température absolue.

On constate que la tension de dissolution du zinc dans le sulfate de zinc décroît très rapidement dans les solutions *très étendues*.

III. La formule de lord Kelvin

$$e = K'W + T\frac{de}{dT},$$

où W représente la quantité de chaleur dégagée dans les réactions chimiques du Daniell et K' une constante, conduit aux réactions suivantes :

La quantité de chaleur W dégagée dans les réactions chimiques du Daniell ne varie pas toujours dans le même sens lorsqu'on fait varier la dilution ; elle décroît d'abord quand la concentration diminue ; elle passe par un minimum pour une solution de sulfate de zinc à 4 p. 100, et croît ensuite lorsque la concentration tend vers zéro.

L'auteur se propose de rechercher si les résultats précédents sont généraux, en étudiant au même point de vue des éléments analogues au Daniell, où le sulfate de zinc sera remplacé par du sulfate de cadmium, du sulfate de fer, et le zinc par les métaux correspondants de ces sels.

Sur l'observation galvanométrique des orages lointains, par **J. J. Landerer**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 279-280.

Au cours de recherches poursuivies pendant plusieurs années à Tortose, en vue de connaître l'origine et les lois des courants telluriques ([1]), l'auteur a souvent eu l'occasion d'observer l'action d'orages lointains. Le dispositif employé consistait en une ligne aérienne de 228 m, faisant avec le méridien magnétique un angle de N 28° E, reliée à la terre par les tuyaux de conduite des eaux de la ville et un galvanomètre Deprez-d'Arsonval sensible au dix-millionième d'ampère ; un téléphone était au besoin introduit dans le circuit. Les phénomènes provoqués par les orages sont indiqués ci-dessous ([2]).

([1]) *Comptes rendus*, t. XCIII, CIII et CV.

([2]) « Les décharges oscillantes ont souvent pour origine les débuts de la formation des gros cumulus précurseurs de l'orage, mais plus souvent encore, l'air étant calme, la présence d'une légère couche de pallio-cirrus, s'étendant sur une certaine région du ciel, surtout au zénith de la ligne. Elles impriment à la tache lumineuse des oscillations parfois si rapides que l'œil est incapable de les suivre ; c'est une sorte de frémissement qui naît et s'arrête d'une façon brusque, en donnant à la tache une apparence estompée caractéristique, qui permet de la distinguer nettement des apparences analogues provenant des variations multiples du courant tellurique.

» Lorsque la foudre éclate sur les montagnes voisines ou à proximité de la ligne, la tache éprouve une double oscillation, ou plutôt une double secousse : d'abord dans un sens, avec faible amplitude, ensuite en sens contraire, avec une grande intensité. Or, l'intervalle compris entre les deux courants induits qui s'y rapportent étant incomparablement moindre que celui que le cadre de l'instrument met pour atteindre un écart donné, il en résulte que l'effet du courant direct l'emporte de beaucoup sur l'autre ; c'est pour cela que, quand on observe les petites déviations produites par un orage lointain, il est impossible de saisir celles qui procèdent du courant inverse.

» Sur la vaste plaine de Tortose, c'est un fait constant que, pour un même orage agissant seul dans le champ créé, ces petites déviations sont toutes de même sens : du nord au sud pour les orages situés à l'est du méridien, du sud au nord pour ceux situés à l'ouest. Le sens des déviations permet donc de connaître de quel côté se trouve l'inducteur orageux, ce qui devient utile surtout en plein jour, alors que la lumière de l'éclair ne se perçoit pas. Dans les mêmes circonstances, le téléphone décèle aussi, par un pétillement distinct du *cri de l'étain*, les décharges lointaines, mais sans fournir aucun indice touchant leur direction.

» L'action des orages sur le galvanomètre atteint un

Radioconducteurs à contact unique, par **Édouard Branly**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 347-349.

Après une introduction historique [1], l'auteur donne la description suivante de l'appareil auquel il a été conduit :

» Trois tiges métalliques, de même nature, parallèles et verticales, de 2 mm de diamètre environ, sont réunies à leur partie supérieure par un disque qui les relie à l'un des pôles d'un élément de pile; les extrémités inférieures des tiges, de diamètre un peu réduit, nettoyées, polies, puis oxydées comme il a été dit, reposent *librement* sur un plan d'acier poli, relié au second pôle de l'élément de pile. On a ainsi trois contacts semblables (*métal oxydé-acier poli*) associés en quantité, sur lesquels se répartit le poids du trépied et qui peuvent se suppléer. La conductibilité s'établit sans antennes par une très faible étincelle à plus de 30 m (des tubes à limaille, très sensibles, n'étaient pas impressionnés régulièrement à cette distance). Un grand nombre de métaux paraissent pouvoir être ici employés ; j'ai obtenu des résultats constants, sans effets capricieux, particulièrement avec des tiges de fer, acier fondu, acier laminé, acier trempé, aluminium, argent, cuivre, nickel, zinc, etc.

---

rayon considérable ; bien que la distance maximum à laquelle il m'a été donné d'observer ces phénomènes n'ait pas dépassé 240 km, soit l'espace compris entre Tortose et l'île de Majorque, on est en droit de prévoir que cette action deviendrait sensible encore sur une étendue beaucoup plus vaste. On remarquera en effet que, pendant l'orage qui eût lieu sur l'île le 3 octobre 1887, les déviations observées atteignirent plus d'un millimètre de l'échelle ; il est évident que des déviations dix fois plus petites seraient encore parfaitement appréciables.

» J'ajouterai, en terminant, que la seule précaution à prendre pour bien observer ces phénomènes est d'opérer à l'abri d'influences locales provoquées, comme celles qui proviendraient de réseaux télégraphiques ou téléphoniques, ou de câbles pour la lumière électrique, fonctionnant simultanément ou sans relâche, car alors il deviendrait malaisé d'en démêler les origines et d'y avoir égard. »

(1) « La première observation des radioconducteurs à un seul contact a paru en 1891 aux *Comptes rendus*, 12 janvier 1891, dans les termes suivants :

» Deux tiges cylindriques de cuivre rouge sont oxydées dans la flamme d'un bec Bunsen, puis elles sont superposées en croix, chargées de poids pour éviter les variations par trépidations et reliées respectivement aux bornes d'une branche d'un pont de Wheatstone. La résistance principale de cette branche réside dans les deux couches d'oxydes en contact. Une mesure prise au hasard parmi un grand nombre accusait une résistance de 80000 ohms avant les étincelles d'une machine électrique indépendante (dans le *Bulletin des séances de la Société de Physique*, avril 1891 ; j'ai ajouté pour plus de clarté : *fonctionnant à quelques mètres de distance*) ; cette résistance passait à 7 ohms après les étincelles. Un effet analogue est obtenu en superposant deux tiges d'acier oxydées ou une tige d'acier et une tige de cuivre, toutes deux oxydées...

» Ces essais étaient la conséquence naturelle de mes expériences sur les limailles ; ils réalisaient des contacts élémentaires. Le tube à limaille s'était présenté le premier, parce qu'il résultait d'expériences faites d'abord avec des verres platinés, puis avec des plans de verre ou d'ébonite métallisés par des poudres conductrices. Les contacts multiples avaient abouti au contact unique.

» Ayant eu connaissance de mes expériences à la fin de 1892, M. Lodge (*The Work of Hertz*, p. 22) les a répétées et a fait aussi usage d'un contact unique : aluminium et fer, mais il n'a pas mentionné l'état des surfaces. Si l'aluminium et le fer étaient oxydés, comme ils devaient l'être s'ils n'avaient pas subi de préparation spéciale, on se trouvait dans les conditions rappelées plus haut ; mais le contact pouvait encore offrir une résistance importante disparaissant par l'étincelle si les surfaces avaient été parfaitement nettoyées, l'aluminium et le fer appartenant au deuxième groupe dans mon classement des métaux en deux groupes, au point de vue de la résistance au contact.

» D'autres expérimentateurs ont plus tard opéré avec un contact unique : par exemple MM. Boulanger et Ferrié; il se sont spécialement servis de zinc (*La télégraphie sans fil*, p. 107), métal du premier groupe, mais « recouvert de la couche d'oxyde qu'il acquiert naturelle- « ment quand il est exposé à l'air ».

» A l'influence de l'oxydation est venue s'ajouter l'influence du poli. Mes radioconducteurs à billes métalliques, très sensibles, consistaient en billes d'acier trempé bien polies, fabriquées industriellemment pour les roulements dans les automobiles et les vélocipèdes. Mes radioconducteurs, à disques métalliques plans, bien dressés et superposés, offraient une résistance d'autant plus forte que les surfaces en contact étaient mieux polies ; cette résistance devenait énorme avec des disques d'aluminium poli ou d'acier poli (polis par M. Pellin ou par M. Duplouich). Le poli paraissait remplacer une couche d'oxyde.

» Utilisant tour à tour ou simultanément les effets de l'oxydation et du poli, j'ai effectué depuis plusieurs mois de nouveaux essais ; ils permettent de réaliser des conditions assurant au contact unique les qualités qui lui manquaient, c'est-à-dire une grande régularité associée à la sensibilité. J'emploie des métaux d'abord nettoyés et polis, puis recouverts d'une très légère couche d'oxyde par un séjour de durée réglée dans une étuve à air chaud de température connue. Bien que le contact *métal oxydé-métal oxydé* et aussi les contacts *métal oxydé-métal net* et *métal poli-métal poli* donnent souvent de bons résultats, jusqu'ici je donne la préférence au contact *métal oxydé métal poli*. »

» Si l'on posait sur le plan d'acier poli plusieurs trépieds à contacts inférieurs oxydés, on formerait une sorte de tube à limaille à contacts *en quantité* et non *en série*, comme dans le tube usuel. Les contacts imparfaits ne touchent ici qu'une électrode; dans le tube à limaille, ils en touchent deux.

» Comme je l'ai fait remarquer à diverses reprises, une grande sensibilité exige souvent un voltage inférieur. Suivant l'épaisseur de la couche d'oxyde, j'ai employé pour le circuit du radioconducteur deux voltages différents : 1 volt (élément Daniell) ou 1/2 volt (élément Dobilly). En variant le poids du trépied, le voltage de l'élément, la résistance du circuit, on obtient à circuit fermé le retour à la résistance par un très léger choc.

» Le circuit était constitué de la façon suivante : élément Daniell, trépied radioconducteur, résistance additionnelle intercalée et galvanomètre, *ou bien :* élément Daniell, trépied radioconducteur, résistance additionnelle et relais peu sensible [1] ».

Application des galvanomètres thermiques à l'étude des ondes électriques de la télégraphie sans fil, par **L. de Broglie,** *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 349-350.

L'auteur s'est proposé de rechercher dans quelles circonstances les ampèremètres thermiques pourraient être appliqués à l'étude de la télégraphie sans fil.

Le poste transmetteur était le poste de télégraphie sans fil du *Saint-Louis*, muni d'une antenne A de 24 m, suspendue par des bâtons isolants et reliée, comme à l'ordinaire, à l'éclateur de la bobine dont l'autre pôle est à la terre. On pouvait intercaler de plus, entre la base de l'antenne et la bobine, un certain nombre de spires de fil de laiton de 30 cm de diamètre.

Le poste récepteur, situé sur l'arrière du précédent, à une trentaine de mètres, était muni d'une antenne B, également suspendue verticalement et reliée, par son extrémité inférieure, à l'une des bornes du millampèremètre, l'autre borne de cet instrument étant réunie à la terre par un fil court. On pouvait à volonté intercaler, entre la base de l'antenne et l'instrument, un nombre quelconque de spires constituées par du fil d'amorce enroulé en tours serrés sur un noyau en bois, de 5 cm de diamètre.

Si l'on émet par l'antenne A avec une intensité convenable, on constate, au poste récepteur, une déviation de l'instrument accusant les effets d'induction dont l'antenne B est le siège. Cette déviation varie avec le nombre de spires ajoutées à l'antenne de réception ; elle croît d'abord et décroît ensuite, en passant par un maximum très considérable et très net, sensible à une spire près.

Si l'on ajoute un certain nombre de spires à l'antenne A d'émission, on constate au poste récepteur que le nombre de spires correspondant à l'indication maxima est augmenté. Cette augmentation est sensiblement proportionnelle au nombre de spires ajoutées à l'émission ; avec les chiffres cités plus haut, il fallait compter 5 tours de plus à la réception par tour ajouté à l'émission.

La valeur du nombre de spires à ajouter à l'antenne de réception pour obtenir la réception maxima peut donc caractériser l'onde émise avec une certaine précision.

En opérant dans ces conditions, M. de Broglie a observé divers faits indiqués ci-dessous [1].

---

[1] « J'aurais attendu, ajoute M. Branly, pour publier ces résultats que d'autres dispositifs, actuellement à l'étude, fussent parvenus à un fonctionnement régulier, si la communication de M. Fényi, insérée dans les *Comptes rendus* de la séance du 27 janvier dernier, *Ecl. Elect.*, t. XXX, p. 228, n'avait appelé l'attention sur le bon emploi de radio-conducteurs à un seul contact.

» En reproduisant les expériences de M. Fényi, j'ai trouvé commode de disposer en trépied trois aiguilles à coudre verticales et parallèles dont les têtes reposaient sur un plan d'acier poli (force électromotrice, $\frac{1}{2}$ volt pour les aiguilles à coudre que j'ai employées) ; le résultat était le même avec trois aiguilles à tricoter disposées aussi verticalement en trépied (force électromotrice de la pile, 1 volt). »

[1] « *Recherche des circonstances qui peuvent modifier l'onde à son émission.* — Il a été constaté que :

» *a*. En faisant varier la longueur d'étincelle de 1 cm à 6 cm, le nombre des spires caractérisant la réception maxima ne variait pas. L'intensité du maximum variait dans la proportion de 100 à 400.

» *b*. En faisant varier le nombre des spires ajoutées à l'antenne d'émission.

» Le nombre de spires correspondant à la réception maxima varie dans les conditions précédemment indiquées ; la valeur du maximum varie un peu ; elle est généralement plus forte pour quelques tours ajoutés que lorsqu'il n'y en a pas; mais elle décroît sensiblement

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Séance du vendredi 7 février 1902

Après communications diverses, le président, M. J. Mesureur, fait connaître les résultats des ***Essais de Téléphonie sans fil*** exécutés récemment par ***M. Maîche,*** à Monaco.

Dans le système préconisé par M. Maîche, chaque station contient un fil isolé, dit fil de base, dont la longueur varie avec la distance à laquelle doivent être transmis les signaux et se termine à chaque extrémité par une plaque métallique d'une certaine dimension, enterrée autant que possible dans une couche relativement humide. Sur chacun de ces fils, en un point quelconque, se trouvent intercalés les appareils transmetteurs et récepteurs, consistant en : « un groupe de piles fournissant le courant à un appareil appelé *diffuseur*, pour les signaux phoniques ; ces piles sont reliées en même temps à l'appareil transmetteur et au récepteur, se composant soit d'un téléphone, soit d'un manipulateur Morse ; à chaque poste peut être installé un relais téléphonique » (¹).

---

quand le nombre ajouté devient un peu fort, à partir de 15 par exemple.

» *c.* En employant des antennes d'émission différentes mais de même longueur, par exemple un fil simple, une antenne à quatre branches, une antenne partiellement composée d'un treillis métallique.

» Le nombre de spires correspondant à la réception maxima varie ; il est plus considérable pour les deux dernières antennes que pour la première, ce qui se comprend.

» L'intensité du maximum est toujours susceptible d'acquérir une valeur considérable au moment de l'accord. L'émission paraît un peu plus énergique dans le cas où l'antenne présente une certaine surface.

» *d.* En faisant varier la nature de la bobine (Ducretet ou Rochefort), la vitesse et le réglage de l'interrupteur (à condition que l'étincelle reste franche), on n'a pas pu constater de variations dans les effets observés au poste récepteur.

» *e.* Il a été également vérifié qu'on pouvait indifféremment remplacer les spires de réception par un allongement de l'antenne de réception ; il fallait compter environ 75 cm de fil non enroulé pour remplacer une spire de 15 cm de circonférence.

» *Cas où l'on trouve plusieurs maximums successifs.* — L'antenne d'émission est remplacée par un long fil de 40 m de long, la réception restant identique.

» On trouve, en faisant varier les spires ajoutées à la réception et en considérant les variations correspondantes de l'aiguille du galvanomètre thermique, deux maximums séparés par un minimum, la valeur absolue du plus considérable de ces maximums étant d'ailleurs inférieure à celle observée dans le cas précédent.

» L'émission étant reprise dans les conditions primitives, on hisse de nouveau le long fil dont il vient d'être question et l'on réunit sa base à la coque. Si l'on approche ce *point de terre* de l'antenne d'émission, à partir de 5 m à 6 m, l'émission ressemble à celle que donne le grand fil ; il y a tendance à la formation de deux maximums, qui deviennent nets quand l'extrémité du grand fil est à moins de 2 m de la base de l'antenne émettrice.

» *Influence de la nature de l'antenne de réception.* — On a successivement constitué l'antenne de réception par un conducteur simple, une antenne multiple et une antenne à filet métallique ; dans ces différentes conditions, il a été constaté que :

» L'antenne simple est de toutes les antennes de réception celle qui demande le plus de spires additionnelles pour être accordée sur un ton donné d'émission ;

» Avec une antenne multiple ou une antenne à treillis métallique, il fallait de 12 à 25 spires de moins ;

» La valeur de l'indication maxima était sensiblement plus forte dans ces deux derniers cas.

» *Phénomènes observés en employant à la réception deux enroulements primaire et secondaire.* — Si, dans les expériences précédentes, on enroule autour des spires ajoutées à la réception un certain nombre de tours du même fil, on constate qu'en réunissant les deux extrémités du secondaire ainsi obtenu, tout se passe comme si on enlevait à l'enroulement primitif autant de tours qu'on est venu en enrouler sur lui.

» En cherchant à placer l'instrument thermique sur le secondaire, on constate un effet identique ; la réaction d'un secondaire fermé sur le primaire revient à enlever à ce dernier une self-induction égale à celle du secondaire.

» Enfin, le galvanomètre peut également être placé en dérivation sur une self-induction quelconque, mais son indication reste sensiblement indépendante du nombre de spires qui le shuntent.

» A des distances plus considérables, par exemple à bord de deux bâtiments voisins, les effets observés décroissent très rapidement ; ils cessent presque immédiatement d'être mesurables avec les instruments indiqués.

» Enfin, à grande portée, l'influence de l'accord obtenu par ces moyens, tout en demeurant appréciable, est loin de présenter le renforcement constaté dans les mesures précédentes ; des recherches sont poursuivies dans cette voie. Leur étude au moyen du tube de Branly est difficile, puisque ce récepteur ne mesure rien et ne fait qu'indiquer le moment où l'onde reçue dépasse l'intensité critique que cohère le récepteur ; cependant, en opérant avec précaution, on a pu réaliser la réception simultanée de deux bâtiments par un troisième. »

(¹) Nous reviendrons sur la description de ces dispositifs dès que nous aurons pu nous procurer des renseignements plus complets que les précédents empruntés au procès-verbal de la séance.

Nous rappellerons que le principe du système a déjà été appliqué, à plusieurs reprises, par M. Preece, M. Rathenau et autres. On trouvera dans la collection du jour-

Effectués avec des appareils établis pour fonctionner avec une portée de 400 m avec des fils de base de 15 à 20 m, soit d'une longueur égale environ au vingtième de la portée, les essais furent néanmoins poussés successivement à 1500, 3500 et 7000 m, en prenant des fils de base de plus en plus longs. Jusqu'à 3500 m les signaux téléphoniques ou télégraphiques ont été parfaitement nets et clairs. A 7000 m, les signaux téléphoniques n'étaient plus perçus que d'une façon indistincte, mais les signaux télégraphiques avaient conservé leur netteté. Toutefois, la proportion dans laquelle il avait fallu augmenter la longueur de la base s'était accrue. En effet, elle avait été portée, pour les expériences relatives aux distances de 3500 et 7000 m, à environ 400 à 450 m, soit un rapport de 1/15 à 1/18.

D'autres essais seront prochainement exécutés, l'un des postes étant installé à bord du yacht « La Princesse Alice » du prince de Monaco ([1]).

La parole est ensuite donnée à M. Léon Gérard, président de la Société Belge des Electriciens, pour une communication sur la *question des chemins de fer électriques en Europe et en Amérique* ; nous analyserons cette communication dès sa publication.

M. A. Gouvy présente en dernier lieu une communication sur ***l'Exposition de Dusseldorf***, dont nous avons signalé récemment la prochaine ouverture ([2]).

---

nal et, en particulier, dans un article de M. J. Voisenat : La télégraphie sans ligne continue par induction électromagnétique (t. XIX, p. 23 et 52, 8 et 15 avril 1899) les résultats obtenus par ces divers expérimentateurs. (N. d. l. R.)

([1]) Ils auront probablement lieu en installant, à terre un fil de base avec appareil, et à bord un fil, qui sera laissé à la traîne du navire, permettant de faire varier facilement, au fur et à mesure que ce dernier s'éloignera de la côte, la longueur de l'une des bases. On obtiendra ainsi probablement des données permettant de déduire la loi qui doit régir les relations de l'énergie, de la longueur de la base et de la distance.

On pourra aussi, en faisant varier l'orientation de la marche du navire, vérifier si le parallélisme des deux bases est indispensable, ou si, au contraire, la direction de ces bases est indifférente pour la transmission des signaux à distance.

([2]) *Écl. Élect.*, t. XXX, p. XLVI, 25 janvier 1902.

L'Exposition de Dusseldorf sera ouverte du 1er mai au 20 octobre 1902, elle n'est que régionale et comprend les provinces du Rhin et de la Westphalie avec le district de Nassau. M. Gouvy fait observer qu'elle est justifiée par l'importance industrielle de la région considérée ; à ce propos il mentionne ce fait qu'à la production totale du globe en fonte de fer, par exemple :

Les États-Unis d'Amérique participent	pour	33,6	p. 100
La Grande-Bretagne	»	23,6	»
L'Allemagne y compris le Luxembourg	»	20,0	»
La France	»	6,3	»
La Russie	»	6,6	»
Le *district minier de Dortmund* à lui seul	»	7,0	»

La *surface occupée* par l'Exposition est de 550000 m², dont 100000 m² de surface couverte ; elle a été créée artificiellement sur la rive droite du Rhin, sur un terrain précédemment inondé, moyennant une dépense de 4 millions de marks.

Les *pavillons* principaux à signaler dès maintenant sont les suivants :

Usines *Krupp* (Essen) couvrant	4180 m²
Usines de *Hoerde* (Dortmund)	1000 m²
Société de *Gutehoffnungshütte*, près Oberhausen	3035 m²
Usines de *Bochum*	2450 m²
Société de construction du Rhin (*Ehrhardt*)	1800 m²
Sociétés réunies de constructeurs de *wagons et locomotives*	3800 m²

Le palais principal de l'Exposition (Palais de l'Industrie) occupera 28000 m², le palais des Machines environ 15000 m², le pavillon des Mines, 6000 m².

La *puissance électrique* développée sera de 6000 chevaux pour l'éclairage et de 6000 chevaux pour le transport de force ; il y aura trois groupes de chaudières à vapeur d'une surface de chauffe totale de 4600 m².

M. Gouvy croit devoir signaler principalement aux métallurgistes la soufflerie avec *moteur à gaz* de hauts fourneaux de 1000 chevaux, exposée par la Société Otto-Deutz dans le pavillon des usines de Gutehoffnungshütte auxquelles elle est destinée, ainsi qu'un laminoir à rails qui sera actionné de même par un moteur à gaz ; il est regrettable que les moteurs Delamare-Deboutteville, construits en Westphalie par les ateliers de Wetter-sur-Rühr (en France par MM. Schneider et Cie et en Belgique par la Société Cockerill), ne soient pas représentées, d'autant plus que plusieurs constructeurs nouveaux de moteurs à gaz de hauts fourneaux participeront à l'Exposition.

Les ingénieurs des mines s'intéresseront plus particulièrement à un *chevalement métallique*, à une *machine d'extraction* de 1200 kilowatts et à une *machine d'épuisement* horizontale de 3600 chevaux, destinée à élever 25 m³ d'eau par minute à 500 m.

M. Gouvy signale enfin les constructions de l'Association des *fabricants de béton*, les *fontaines* lumineuses, les pavillons divers et restaurants, ainsi que le *Palais des Beaux-Arts*, qui est la seule construction de l'Exposition exécutée en pierre et qui restera la propriété de la ville de Dusseldorf ; ce palais qui couvre 8000 m² a une façade de 132 m et aura coûté 1200000 marks.

De nombreux *congrès* auront lieu pendant l'Exposi-

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 25 octobre 1901 (Suite) (1)

***Sur la marche en parallèle des alternateurs*, Ernst J. Berg**, *Transactions*, XVIII, p. 781-786.

Dans cette communication l'auteur commence par développer des considérations analytiques (2) qui le conduisent à la conclusion suivante : deux alternateurs ayant même force électromotrice induite et marchant en phase, prennent des charges inversement proportionnelles à leurs réactions d'induit.

Il résulte de là deux conséquences intéressantes. La première est que si deux alterna-

---

tion, mais des invitations spéciales ne seront pas adressées aux Sociétés ou associations étrangères en tant que corps constitués, les comités d'organisation ne pouvant prendre sur eux les charges qui leur incomberaient du fait des réceptions *officielles;* toutefois les Sociétés ou leurs délégués sont assurés d'avance du concours de ces comités et de leurs représentants, soit aux congrès, soit pour la visite de l'Exposition et de la ville de Dusseldorf.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 295-298.

(2) Considérons deux alternateurs devant fonctionner en parallèle.

Soient :

e la force électromotrice induite,

$Z_1 = r_1 - jx_1$, $Z_2 = r_2 - jx_2$, les impédances des armatures des alternateurs (j désignant la quantité imaginaire $\sqrt{-1}$),

Y_1, Y_2, les admittances correspondantes,

$Z = r - jx$ l'impédance de la charge externe,

Y_3, l'admittance résultante des circuits d'armature,

Z_3, l'impédance correspondante,

Z_0, l'impédance totale dans le circuit.

Nous avons alors :

$$Y_1 = \frac{r_1}{Z_1^2} + j\frac{x_1}{Z_1^2}, \qquad Y_3 = Y_1 + Y_2,$$

$$Y_2 = \frac{r_2}{Z_2^2} + j\frac{x_2}{Z_2^2},$$

$$Z_3 = \frac{1}{Y_3}, \qquad Z_0 = Z_3 + Z,$$

courant total

$$I = \frac{e}{Z_3 + Z},$$

tension sous charge

$$IZ = \frac{eZ}{Z_3 + Z},$$

chute de tension dans l'armature

$$e - \frac{eZ}{Z_0 + Z},$$

courant dans l'armature 1

$$\left(e - \frac{eZ}{Z_3 + Z}\right)Y_1,$$

courant dans l'armature 2

$$\left(e - \frac{eZ}{Z_3 + Z}\right)Y_2,$$

volts-ampères de l'armature 1

$$e^2Y_1\left(1 - \frac{Z}{Z_3 + Z}\right),$$

volts-ampères de l'armature 2

$$e^2Y_2\left(1 - \frac{Z}{Z_3 + Z}\right).$$

La puissance développée dans chaque armature est la partie réelle de chacune des expressions des volts-ampères, c'est-à-dire

$$P_1 = e^2\frac{pr_1 - qx_1}{(m^2 + n^2)(r_1^2 + x_1^2)},$$

$$P_2 = e^2\frac{pr_2 - qx_2}{(m^2 + n^2)(r_2^2 + x_2^2)},$$

où l'on a posé

$$p = m^2 + n^2 - mr - nx,$$

$$q = mx - nr,$$

$$m = \frac{G}{G^2 + B^2} + r, \qquad n = \frac{B}{G^2 + B^2} + x.$$

$$G = g_1 + g_2, \qquad B = b_1 + b_2,$$

$$Y_1 = g_1 + jb_1, \qquad Y_2 = g_2 + jb_2.$$

En négligeant les résistances des armatures par rapport à leurs réactances, on arrive à

$$P_1 = \frac{e^2x_2r\,(x_1 + x_2)}{Z^2(x_1 + x_2)^2 + x_1^2x_2^2 + 2xx_1x_2(x_1 + x_2)},$$

$$P_2 = \frac{e^2x_1r\,(x_1 + x_2)}{Z^2(x_1 + x_2)^2 + x_1^2x_2^2 + 2xx_1x_2(x_1 + x_2)},$$

expressions qui montrent que les alternateurs se partagent la charge totale en fractions inversement proportionnelles à leurs réactions d'armatures.

Dans le cas où la charge extérieure est non-inductive, il vient

$$P_1 = \frac{e^2rx_2\,(x_1 + x_2)}{r^2(x_1 + x_2)^2 + x_1^2x_2^2},$$

$$P_2 = \frac{e^2rx_1\,(x_1 + x_2)}{r^2(x_1 + x_2)^2 + x_1^2x_2^2},$$

expressions que l'on peut généralement remplacer par les suivantes

$$P_1 = \frac{e^2x_2}{r\,(x_1 + x_2)}, \qquad P_2 = \frac{e^2x_1}{r\,(x_1 + x_2)}.$$

teurs de dimensions et, partant, de puissances différentes sont accouplées en parallèle, ils se partageront la charge totale proportionnellement à leurs puissances nominales, si leurs réactions d'induit sont inversement proportionnelles à ces puissances nominales ; or, pratiquement, deux alternateurs de même type ont des réactions d'induit inversement proportionnelles à leurs dimensions et par conséquent à leurs puissances. Par conséquent il est possible d'accoupler en parallèle, deux alternateurs de puissances différentes, en faisant supporter à chacun d'eux la charge qui lui convient, pourvu que les machines à vapeur qui les conduisent soient du même type.

La seconde conséquence est que deux alternateurs de même dimensions, mais ayant des réactions différentes, ne prendront pas la même fraction de la charge totale, même s'ils sont commandés par la même machine. Alors, pour équilibrer la charge, il est nécessaire d'augmenter la réactance de l'un des induits, ou de décaler mécaniquement l'un d'eux par rapport à l'autre, ou enfin de donner à l'excitation une valeur telle qu'il se produise de puissants courants de synchronisation (dont l'effet est examiné plus loin).

La discussions analytique suppose, il est vrai, que les alternateurs marchent strictement en phase, ce qui, pratiquement, limiterait son application au cas d'alternateurs rigidement accouplés entr'eux. Mais il est à remarquer que même dans le cas d'un accouplement rigide, la charge prise pour chaque alternateur est différente, si, toutes choses égales d'ailleurs, les deux alternateurs présentent un décalage de phase l'un par rapport à l'autre. En effet, le courant dû à la force électromotrice résultante n'a pas alors le même déphasage par rapport à la force électromotrice de l'un des alternateurs que par rapport à la force électromotrice de l'autre ; par suite, la puissance fournie est différente.

Après cette remarque, l'auteur revient sur la possibilité de modifier la répartition de la charge en modifiant l'excitation. Supposons deux alternateurs ayant même réaction d'induit mais des forces électromotrices différentes avant leur couplage en parallèle. Dès que le couplage est effectué, là tension aux bornes devient la même ; par suite il s'établit entre les deux alternateurs des courants de compensation, en retard dans l'alternateur le plus excité, en avance dans l'autre. Ces courants donneront, conjointement avec les courants d'excitation, des champs résultants qui auront la même intensité dans les deux alternateurs mais qui seront déphasés l'un par rapport à l'autre ; dans l'alternateur le plus excité ces courants amèneront le champ résultant plus en phase avec le courant watté, ce qui équivaudra à une diminution de la réactance ; dans l'autre, ils produiront le même effet qu'une augmentation de cette réactance. Il est, par conséquent possible de modifier la charge respective de chaque alternateur mais avec dépense inutile de courant, puisque ce procédé donne lieu à la production de courants déwattés entre les alternateurs.

M. Berg fait alors remarquer qu'il résulte des considérations précédentes, que la répartition de l'énergie entre des alternateurs est des plus simples, si ces alternateurs possèdent rigoureusement les uns et les autres la même vitesse angulaire sous toutes charges, c'est-à-dire si le réglage des machines motrices s'opère avec assez de précision pour que, les alternateurs étant déchargés, leurs induits conservent néanmoins la même position, l'un par rapport à l'autre. Comme en réalité les machines motrices ne présentent pas cette régularité, que toujours l'une d'entre elles maintiendra sa vitesse mienx que les autres, les machines motrices ne donneront pas, en général, la même puissance et la même vitesse. Or si, avec une même réaction d'induit et une même force électromotrice, une machine donne une puissance différente de celle fournie par une autre, les armatures devront se décaler d'un certain angle ; par suite la plus minime différence dans la régulation de la vitesse aura pour conséquence de changer la position relative des armatures et, par tant, de produire un « pompage ». La répartition de la charge entre les alternateurs dépend donc de la puissance que les moteurs sont capables de développer pour une méme valeur de la vitesse.

On arrive donc à cette conclusion que les alternateurs ont naturellement une tendance au « pompage », phénomène qui se manifeste par les balancements périodiques des induits et qui provoque le transfert de la charge d'un alternateur à l'autre. Une investigation, même des plus superficielles, montre que ces modifications con-

tinuelles de la charge individuelle des machines sont de beaucoup supérieures aux quantités d'énergie qu'est capable de restituer ou d'emmagasiner le volant. Dès lors, il faut que le couple moteur présente, lui aussi, des pulsations. Comme ce couple dépend de la quantité de vapeur introduite dans la machine, le flux de vapeur doit par conséquent être lui-même périodique pour permettre au « pompage » de se maintenir. Par suite, un moyen de faire cesser le « pompage » est de prévenir la périodicité dans l'afflux de vapeur en munisssant les régulateurs d'amortisseurs convenables.

En terminant, M. Berg rappelle qu'il existe un autre moyen : munir l'alternateur d'amortisseurs électriques qui, au lieu d'agir sur le couple moteur comme les amortisseurs des régulateurs, agissent sur le couple résistant. Mais il considère ce moyen comme inférieur au précédent parce qu'il donne lieu à des pertes d'énergie considérables, non seulement pendant la période où les alternateurs « pompent », mais encore lorsque les alternateurs sont en synchronisme, ces pertes provenant des courants induits dans l'enroulement en court-circuit par les pulsations du flux inhérentes à la manière dont sont constituées les armatures des alternateurs de construction moderne. J. R.

Séance du 22 novembre 1901 (Suite). [1]

Distribution de l'électricité dans les villes de moyenne importance, par **W. L. Robb.** *Transactions,* t. XVIII, p. 843-849, novembre 1901.

On entend par là les villes de moins de 200 000 habitants, parmi lesquelles celles de 50 000 au moins forment une classe spéciale.

Dans ces dernières, la station doit rayonner à 3 ou 5 km dans tous les sens et fournir l'éclairage public à arc sur 100 à 150 km de rues. Presque tout le réseau sera aérien, et il y aura une seule station triphasée à 2 300 volts et 60 périodes. La distribution se fera par phase séparée pour les différentes sections de la ville, en amenant néanmoins le troisième fil de phase, de la section adjacente, pour les moteurs d'une puissance supérieure à 3 chevaux et pour les commutatrices destinées à l'électrolyse ou aux accumulateurs. Dans certains quartiers de consommation très intense de lumière et de force, on distribuera, à 3 fils, 220 volts fournis par un ou plusieurs transformateurs principaux.

Dans les villes les plus importantes de cette catégorie moyenne, la station centrale doit être éloignée des quartiers commerçants, néanmoins le courant continu y est imposé par suite du caractère intermittent des moteurs (monte-charge, ascenseurs), la nécessité des lignes souterraines, par les installations existantes et le prix élevé de l'usage du courant alternatif pour les arcs et les moteurs. La station centrale sera triphasée, à 2 300 volts entre fil de phase et centre de l'étoile, et à 60 périodes. La ligne triphasée sans fil neutre alimentera des sous-stations avec commutatrices, qui distribueront le courant continu à 220 volts et 3 fils [1]. Il n'y aura pas de survolteurs, les variations de tension sur le continu seront obtenues par celles du transformateur fixe. La canalisation primaire sera souterraine, de préférence en câbles sous papier et sous plomb tirés dans des caniveaux avec regards.

Pour les quartiers excentriques, on pourra utiliser des circuits aériens à phase séparée, sauf à amener le troisième fil pour les moteurs puissants. S'il s'y trouve des centres importants de consommation on fera du trois-fils à 220 volts donnés par un gros transformateur avec le neutre à la terre. La distribution primaire sera en général triphasée à 4 fils [2] avec des tensions variables sur chaque feeder, obtenues soit à la station, soit aux centres de distribution.

P.-L. C.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 257-264.

[1] L'infériorité de l'incandescence à 220 volts et de l'arc à 110, composerait largement l'économie de cuivre résultant de l'usage de la distribution à 440 volts et trois fils. (N. de l'A.)

[2] Voir la communication faite à la même séance par M. Emmet, *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 263, 15 février 1902.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 8 Mars 1902. 9e Année. — N° 10.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES OSCILLATIONS ÉLECTRIQUES D'ORDRE SUPÉRIEUR

Dans les systèmes destinés à l'observation des ondes électriques propagées dans les fils (appareils de Lecher, de Blondlot, etc.) on constate toujours l'existence de plusieurs systèmes d'ondes stationnaires simultanés.

On a cherché tout d'abord à rapprocher ces vibrations multiples des harmoniques acoustiques ; mais on a bientôt renoncé à cette idée, parce que les longueurs d'onde de ces vibrations ne formaient pas du tout une série harmonique.

En fait, ces vibrations, que nous appellerons d'ordre supérieur, ou simplement tons supérieurs, sont tout à fait analogues aux vibrations supérieures de l'acoustique, si on les compare dans des conditions convenables.

Les vibrations harmoniques en acoustique ne sont qu'un cas particulier ; elles se produisent quand le système vibrant possède des propriétés uniformes dans la direction de propagation des vibrations ; exemple : un tuyau de section uniforme, une corde de section, de densité, d'élasticité uniformes sur toute sa longueur.

Si cette uniformité est détruite, les sons supérieurs cessent d'être harmoniques : c'est ce qui se produit, par exemple, si on surcharge la corde en un point ; on est averti de la présence des sons supérieurs inharmoniques par le timbre aigre que prend le son de la corde surchargée.

Nous allons voir que les vibrations électriques dans un système de fils parallèles seraient aussi harmoniques si la capacité et l'induction propre, par unité de longueur, étaient constantes tout le long des fils. Elles ne le sont pas dans les excitateurs ordinaires, à cause de la perturbation apportée dans la répartition de la capacité et de l'induction propre par la présence des cercles ou des plaques primaires et secondaires.

Oscillations d'ordre supérieur et résonance multiple. — Le phénomène des oscillations d'ordre supérieur est distinct du phénomène de la résonance multiple. Bjerknes dit expressément d'ailleurs que sa théorie de la résonance multiple s'applique seulement au cas où les oscillations d'ordre supérieur ne se produisent pas. Par suite du phénomène de la résonance multiple, on peut obtenir, avec un même excitateur, la résonance avec plusieurs résonateurs de périodes propres différentes, ces périodes restant contenues entre certaines limites.

Les périodes des oscillations d'ordre supérieur varient au contraire par sauts brusques : elles forment une série discontinue.

EXPÉRIENCES

Méthode d'observation. — La détermination des longueurs d'onde se fait par la méthode des deux ponts, en employant comme indicateur de résonance un tube à gaz raréfié.

Un premier pont est placé sur les fils parallèles d'abord au voisinage de l'excitateur proprement dit. A partir de ce pont, on en déplace un deuxième le long des fils, en maintenant le tube à peu près au milieu de l'intervalle des deux ponts. Quand ce deuxième pont se trouve sur un nœud, la luminescence du tube passe par un maximum. La distance entre le pont fixe et le premier nœud d'une vibration, augmentée de la demi-somme des longueurs des ponts, représente un internœud, c'est-à-dire la demi-longueur d'onde de cette vibration.

Tableau I

l.	$\frac{1}{2}\lambda_1$.	$\frac{1}{2}\lambda_2$.	$\frac{1}{2}\lambda_3$.	$\frac{1}{2}\lambda_4$.	$\frac{1}{2}\lambda_5$.	$\frac{1}{2}\lambda_6$.	$\frac{1}{2}\lambda_7$.
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm
175	302	»	»	»	»	»	»
225	339	»	»	»	»	»	»
275	381	»	»	»	»	»	»
325	405	250	»	»	»	»	»
375	441	261	»	»	»	»	»
425	481	291	»	»	»	»	»
475	521	304	220	»	»	»	»
525	562	318	240	»	»	»	»
575	602	336	246	»	»	»	»
625	648	358	263	»	»	»	»
675	693	380	272	217	»	»	»
725	744	400	291	225	»	»	»
775	789	420	302	240	199	»	»
825	838	443	313	248	206	»	»
875	881	465	326	256	215	»	»
925	939	488	340	265	225	»	»
975	984	510	356	277	234	201	»
1025	1031	534	371	292	242	206	»
1075	1083	557	389	301	249	214	»
1125	(trop faible)	577	396	312	255	219	194

Après avoir ainsi déterminé les longueurs d'onde des vibrations qui correspondent à la position du premier pont, on place celui-ci dans une autre position et on recommence la même série d'observations.

On obtient ainsi à chaque fois la série des longueurs d'onde qui correspondent au système vibrant limité par le premier pont.

TABLEAU II

l.	$\frac{\frac{1}{2}\lambda_1}{l}$.	$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$.	$\frac{\lambda_3}{\lambda_1}$.	$\frac{\lambda_4}{\lambda_1}$.	$\frac{\lambda_5}{\lambda_1}$.	$\frac{\lambda_6}{\lambda_1}$.	$\frac{\lambda_7}{\lambda_1}$.
mm.							
175	1,72	»	»	»	»	»	»
225	1,50	»	»	»	»	»	»
275	1,39	»	»	»	»	»	»
325	1,24	0,617	»	»	»	»	»
375	1,17	601	»	»	»	»	»
425	1,15	605	»	»	»	»	»
475	1,10	583	0,422	»	»	»	»
525	1,06	565	427	»	»	»	»
575	1,047	558	405	»	»	»	»
625	1,037	552	405	»	»	»	»
675	1,027	548	392	0,313	»	»	»
725	1,027	537	391	302	»	»	»
775	1,018	532	382	304	0,252	»	»
825	1,015	528	373	295	245	»	»
875	1,007	527	370	290	244	»	»
925	1,015	519	362	282	239	»	»
975	1,009	518	361	281	237	0,204	»
1025	1,006	518	359	283	234	200	»
1075	1,008	514	359	277	230	192	»
1125	(1,002) extrapol.	511	351	276	228	194	0,172
Série harmonique		0,500	0,333	0,250	0,200	0,166	0,142

1. EXCITATEUR DRUDE-BLONDLOT. — Cet excitateur était emprunté à un appareil de Drude pour l'étude de la dispersion et de l'absorption électrique [1]. Les tubes-coulisses avaient été remplacés par des fils longs de quelques mètres.

Dans les tableaux ci-dessus, l désigne la longueur des fils comprise entre le premier pont et le sommet du cercle secondaire, le cercle étant supposé rectifié. Ce sommet est toujours un nœud de vibration, comme il est facile de le vérifier ; en le reliant au sol, on ne modifie pas l'état vibratoire du système.

L'examen de ces tableaux permet de reconnaître les faits suivants :

1° Les longueurs d'onde observées croissent régulièrement avec la longueur P de l'excitateur : nous devons donc attribuer ces longueurs d'onde aux vibrations du système formé par la partie des fils parallèles située en arrière du premier pont.

2° La vibration dont la longueur d'onde est λ_1 peut être appelée vibration fondamentale, car elle ne présente entre les deux nœuds qui se trouvent aux extrémités du système vibrant aucun nœud intermédiaire : $\frac{\lambda_1}{2}$ est en effet toujours supérieur à l.

3° A mesure que l augmente, $\frac{\lambda_1}{2}$ tend vers l.

4° La série des oscillations d'ordre supérieur n'est pas harmonique, mais tend à le devenir quand la longueur de l'excitateur augmente indéfiniment.

Ces phénomènes sont analogues à ceux qu'on observerait avec une corde portant une

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XIV, p. 82, janvier 1898.

surcharge vers l'une de ses extrémités. Tant que la corde est assez courte, la présence de la surcharge modifie la période du son fondamental et celle des harmoniques, mais dans des proportions différentes : les sons supérieurs cessent d'être harmoniques. Mais quand la corde devient très-longue, l'importance relative de la perturbation diminue de plus en plus et les périodes tendent à reprendre leur valeur normale, c'est-à-dire celles qui correspondent à la corde non surchargée. Ce fait se produit successivement pour le son fondamental et pour les sons supérieurs. On le comprend aisément si on remarque qu'un son supérieur est le son fondamental d'une corde dont la longueur serait égale à un internœud de ce son.

Le phénomène électrique a la même allure : la perturbation est provoquée ici par la présence des cercles primaire et secondaire ; dans la région où ils se trouvent la capacité et l'induction propre par unité de longueur sont différentes de ce qu'elles sont dans les autres portions des fils parallèles. De même l'expérience prouve, preuve qui est presque superflue, que les vibrations supérieures d'un système sont les vibrations fondamentales du système qui serait limité au nœud le plus voisin des cercles.

Influence de l'écartement du cercle primaire et du cercle secondaire. — D'après ce qui précède les vibrations observées quand l'excitateur est très long doivent être considérées comme les vibrations propres du secondaire. En fait, on observe que les longueurs d'onde de ces vibrations sont indépendantes de l'écartement des plans des deux cercles. Quand la longueur de l'excitateur est petite, les longueurs d'onde diminuent quand on augmente cet écartement. Dans ce cas, les vibrations sont celles de l'ensemble du primaire et du secondaire.

Cercle secondaire ouvert. — En ouvrant le cercle secondaire au sommet, on change le nœud de vibration qui s'y trouvait en un ventre. Le système vibrant est alors l'analogue d'un tuyau fermé puisque les ondes stationnaires aux deux extrémités sont de nature différente.

On ne doit donc plus observer dans ce cas que les vibrations supérieures correspondant aux termes impairs de la série harmonique : c'est effectivement ce qui arrive.

Influence de la position du primaire par rapport aux extrémités du secondaire. — Laissant la longueur totale de l'excitateur constante, on place les cercles primaire et secondaire à des distances variables des extrémités, les longueurs d'onde varient et certaines vibrations supérieures cessent d'être observables : on reconnaît aisément que ce sont celles qui présenteraient un nœud dans la région d'excitation.

2. Excitateur Blondlot. — 1° *Excitateur sans condensateur primaire.* — Il ne se distingue du précédent que par les dimensions, les phénomènes suivent tout à fait la même allure.

2° *Excitateur avec condensateur primaire.* — Quand on relie un condensateur aux extrémités du primaire, les longueurs d'onde deviennent plus grandes quand la longueur de l'excitateur est relativement petite. Si la longueur de l'excitateur devient très grande, les longueurs d'onde deviennent à peu près indépendantes de la capacité du primaire. Ce résultat est conforme à ce qui a été dit plus haut, que les vibrations observées dans ce cas sont les vibrations propres du secondaire.

Mais nous trouvons encore quelque chose de plus. L'une des longueurs d'onde est à peu près indépendante de la longueur de l'excitateur, ou tout au moins ne fait qu'osciller entre des limites très rapprochées, quand on fait varier cette longueur ; par contre, elle dépend essentiellement de la capacité du primaire. Il est visible qu'elle correspond à la

période propre du primaire, et si on ne lui trouve pas une valeur constante, c'est par suite du phénomène de la résonance multiple.

Nous trouvons ainsi dans le secondaire les deux systèmes de vibrations dont la théorie de la résonance fait prévoir l'existence.

1° Les vibrations propres du secondaire.

2° Une vibration forcée dont la période dépend essentiellement de la période propre du primaire.

3. Excitateur de Lecher. — Supposons d'abord que les fils primaires, c'est-à-dire ceux qui relient les condensateurs aux pôles de l'étincelle soient très courts.

Les longueurs d'onde observées sont celles qu'on obtient en appliquant la formule de Cohn et Heerwagen au système formé par les plaques et les fils secondaires jusqu'au pont fixe, sauf une qui n'est pas donnée par la formule.

Mais on vérifie facilement que cette dernière longueur d'onde est celle qui correspond au circuit primaire, formé par les plaques et les fils primaires.

Supposons ensuite qu'on donne aux fils primaires une longueur plus grande, comparable à celle des fils secondaires. On observe alors deux séries distinctes de vibrations ; qui se différencient nettement quand le primaire et le secondaire ont une longueur assez grande. L'une de ces séries représente les vibrations propres du secondaire, l'autre les vibrations forcées dont les périodes sont voisines des périodes propres du primaire. Chacune forme une série quasi-harmonique à termes impairs : les longueurs d'onde sont d'ailleurs les mêmes pour une même longueur du circuit correspondant : ce qui revient à dire qu'on peut interchanger les positions du pont fixe et de l'étincelle, comme l'a démontré Apt [1].

Lorsque le primaire et le secondaire sont longs, nous observons leurs vibrations propres ; on peut dire que chacun vibre comme s'il était seul. D'autre part, le primaire seul ne diffère par aucune propriété essentielle d'un excitateur de Hertz. Nous sommes donc amenés à supposer qu'un excitateur de Hertz dont la longueur est suffisante par rapport à sa capacité émet un système de vibrations dont les longueurs d'onde forment une suite à intervalles finis, cette suite tend, quand la longueur devient très grande vers la série harmonique.

Ce fait a été en réalité vérifié par des expériences directes de Kiebitz, publiées depuis la conclusion du présent travail.

En résumé, les phénomènes relatifs aux oscillations électriques d'ordre supérieur, s'expliquent complètement par les propriétés générales des vibrations.

M. Lamotte.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 87, oct. 1897.

RÉVÊTEMENT DES CABLES SOUS-MARINS

II. — Soit proposé de revêtir le cable ci-dessus spécifié [1] d'une deuxième armure en fils de fer de 8 mm, avec un nouveau guipage extérieur en rubans de toile goudronnée enduits de composé bitumineux.

Nombre de fils de l'armature. — Dans l'équation (13) portons

$$D = 26,6$$
$$d = 8;$$

on trouvera

$$\sin \frac{\pi}{n} \geqslant 0,2312;$$

d'où

$$n \leqq 13,46.$$

On pourra donc mettre au plus 13 fils.

D'autre part, considérons la limite pratique inférieure du pas, admise pour les fils de gros diamètre, c'est-à-dire 350 mm, correspondant au pas théorique

$$p = \frac{350}{1,2} = 292.$$

Introduisons cette valeur de p dans l'équation (16) qui donnera

$$\cos \frac{\pi}{n} = 0,9695;$$

La quantité $\cos \frac{\pi}{n}$ variant dans le même sens que p, pour que le pas ne descende pas au-dessous de la limite pratique fixée, on devra poser la condition

$$\cos \frac{\pi}{n} \geqq 0,9695;$$

d'où

$$n \geqslant 12,67.$$

Cette dernière inégalité signifie qu'il faut que l'armure comprenne un nombre de fils supérieur à 12.

Adoptons

$$n = 13$$

L'équation (12) donnera alors

$$p = 362$$

Le pas pratique cherché sera

$$p_f = 362 \times 1,2 = 434 \text{ mm}.$$

Fixation du pas. — Supposons que, dans la machine de revêtement employée, l'entraînement du câble s'obtienne au moyen d'un attelage de galets de pression.

Le pas de l'armure sera égal au chemin parcouru par un point quelconque du fond de la gorge des galets en contact avec le câble, pendant la durée d'une révolution complète du plateau à fils de fer.

---

[1] Voir numéro du 22 février, p. 265.

Soit

R, le rapport des transmissions invariables conduisant du plateau à fils de fer aux galets d'entraînement,

P, le rapport des roues de pas intercalées dans les dites transmissions,

C, la circonférence des galets.

Le pas sera

$$p_f = \mathrm{RCP} \qquad (d)$$

Dans la machine considérée, où l'on a

$$\mathrm{R} = 0{,}32743$$
$$\mathrm{C} = 1\,011{,}8 \text{ mm};$$

on trouve

$$p_f = 331{,}4\ \mathrm{P}. \qquad (d')$$

Dans l'équation (d') portons la valeur de p_f trouvée plus haut. On en déduira

$$\mathrm{P} = \frac{434}{331{,}4} = 1{,}3096.$$

En cherchant parmi les combinaisons réalisables des roues de pas, on trouve le rapport

$$\mathrm{P}' = \frac{46 \text{ dents}}{36 \text{ dents}} = 1{,}278$$

voisin de la valeur ci-dessus. En adoptant ce dernier rapport, on obtiendra la valeur définitive du pas

$$p_f = 331{,}4 \times 1{,}278 = 424 \text{ mm}.$$

Poids de l'armure par kilomètre. — L'application de l'équation (25) donne

$$\mathrm{P} = 5\,240 \text{ kg}.$$

Pas du guipage. — La machine considérée donne aux rubans du guipage les pas suivants :

$$p_{r1} = \frac{p_f}{4{,}0812\ \mathrm{P}} \qquad p_{r2} = \frac{p_f}{4{,}0067\ \mathrm{P}}$$

Avec

$$\mathrm{P} = 1{,}278 \qquad p_f = 424$$

on trouve

$$p_{r1} = 81{,}3 \text{ mm}, \qquad p_{r2} = 82{,}8 \text{ mm}.$$

Largeur des rubans. — Première enveloppe.

Dans l'équation (21) portons

$$\mathrm{D} = 42{,}6 \qquad e = 0{,}9 \qquad p = 81{,}3.$$

On aura

$$\lambda_1 = 70 \text{ mm}.$$

Deuxième enveloppe.

$$\mathrm{D} = 45{,}1 \qquad e = 0{,}9 \qquad p = 82{,}8;$$

d'où

$$\lambda_2 = 72 \text{ mm}.$$

Angles d'enroulement des rubans. — En appliquant l'équation (22), on trouvera

Première enveloppe.

$$\alpha_1 = 31°15'$$

...

Deuxième enveloppe.

$$\alpha_2 = 30°20'$$

Surface des rubans par kilomètre de câble. — Première enveloppe.

$$S_1 = 137 \text{ m}^2$$

Deuxième enveloppe.

$$S_2 = 145 \text{ m}^2.$$

Spécification du câble.

		Poids kilométriques.
Câble intérieur déjà spécifié		1 950 kg.
2e armure, 13 fils de fer galvanisé de 8 mm		5 240 »
Guipage. 1re enveloppe, ruban de 70 mm. — 137 m² ; 2e enveloppe, ruban de 72 mm. — 145 m²	Poids avec l'enduit.	410 »
Total		7 600 kg.

Le diamètre du câble terminé sera de 47,6 mm.

III. — Soit proposé de confectionner un cable a quatre conducteurs revêtu d'une armure de 16 fils de fer de 7 mm, avec matelas de jute et guipage formé de deux rubans de toile goudronnée enduits de composé bitumineux.

La fabrication de ce câble comportera deux phases :

A. *Confection du toron d'âmes.* — En premier lieu, les âmes seront enroulées en hélices, autour d'une mèche centrale en jute, par une machine qui appliquera en même temps les deux couches de fils de jute formant matelas autour des âmes.

Nous supposerons cette machine disposée pour donner à l'enroulement des âmes un pas de 250 mm, et aux fils de jute des pas respectifs de 113 mm pour la première couche et 150 mm pour la seconde couche.

B. *Revêtement du toron.* — L'application de l'armure en fils de fer et des rubans de toile du guipage extérieur se fera ensuite au moyen de la machine employée dans l'exemple II précédent.

A. *Confection du toron.*

Prenons comme pas théorique

$$p = \frac{250}{1,2} = 208.$$

Dans l'équation (15) portons

$$p = 208 \quad d = 7 \quad n = 4.$$

On en déduit

$$D = 2,96 \text{ mm},$$

soit, très approximativement, la valeur que nous adopterons

$$D = 3 \text{ mm}.$$

Mèche centrale. — En admettant la valeur 0,4 pour la compression du jute telle qu'elle a été définie plus haut, on trouve

$$E = \frac{3}{1 - 0,4} = 5 \text{ mm}.$$

La mèche centrale pourra donc être formée par un fil de jute de 5 mm.

Garniture en fils de jute. — La section du toron aura la forme de la figure 8, dans laquelle nous supposerons, pour simplifier le calcul qui va suivre, que les sections des âmes soient des cercles.

Le plateau tournant, sur lequel sont les bobines d'âmes, supporte, intercalées entre celles-ci, des bobines de fils de jute qui se câblent avec les âmes de manière à occuper les espaces AMBE.

Par le passage à la forme cylindrique ou toupin, les fils de jute de la garniture sont forcés d'épouser les contours de l'espace AMBE. Néanmoins, ce résultat ne peut pas être

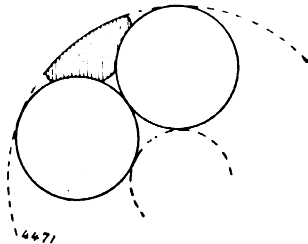


Fig. 8.

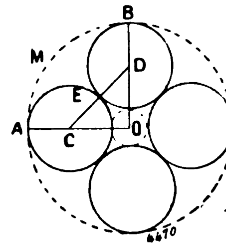


Fig. 9.

atteint d'une manière complète ; le fil de jute primitivement cylindrique, prend une forme semblable à celle que représente la figure 9, en conservant une faible compression permanente.

Nous admettrons qu'il y ait sensiblement équivalence entre l'aire de l'espace AMBE et celle de la section primitive du fil de jute de la garniture.

Si l'on désigne par

δ, le diamètre du fil de jute,

S, l'aire AMBE,

on aura

$$\delta = 2\sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

Évaluons S dans le cas présent.

$$S = \text{Aire secteur AOB} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Aire triangle COD.} \\ \text{2 aire secteur EDB.} \end{array} \right\}$$

$$\text{Aire secteur AOB} = \frac{\pi}{16}(D + 2d)^2 = 56,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aire triangle COD} = \frac{(D + d)^2}{8} = 12,50 \text{ mm}^2.$$

$$\text{Aire secteur EDB} = \text{arc EB} \times \frac{d}{4}.$$

$$\text{Arc EB} = \pi \times \frac{135^\circ}{180^\circ} + \frac{d}{2} = 1,1781\, d.$$

$$2 \text{ Aire secteur EDB} = 2 \times 1,1781\, d \times \frac{d}{4} = 0,589\, d^2 = 28,86 \text{ mm}^2.$$

$$S = 56,75 - (12,50 + 28,86) = 15 \text{ mm}^2.$$

On aura ainsi pour δ la valeur

$$\delta = 2\sqrt{\frac{15}{\pi}} = 5,2 \text{ mm}.$$

Le fil de 5 mm se trouvant un peu faible, nous adopterons le fil de 6 mm de diamètre.

Développement des âmes par kilomètre. — L'équation (23) donne, toutes substitutions faites,

$$4L = 4032 \text{ m}.$$

Poids de jute par kilomètre. — Mèche centrale.

Le fil de jute de 5 mm pesant 7,5 gr par mètre courant, on aura

$$P = 7{,}5 \text{ kg}.$$

Garniture.

Nous admettrons que le centre de gravité de la section d'un fil de la garniture se trouve aux $\frac{2}{3}$ de la distance EM comptée sur le prolongement du rayon OE (assimilation au triangle).

Dans le cas présent, on a

$$\overline{EM} = \overline{OD} = \frac{D+d}{2} = 5 \text{ mm}.$$

La circonférence, passant par les centres de gravité des sections des fils de la garniture, aura donc pour diamètre

$$D + 2d - \frac{5}{3} \times 2 = 13{,}66 \text{ mm}.$$

Substituons cette dernière valeur à la quantité $D + d$ dans l'équation (24) et supposons, pour le calcul du poids, que les fils aient repris leurs formes cylindriques, sans compression, autour de leurs centres de gravité de sections.

On aura dans l'équation (24)

$$D + d = 13{,}66 \qquad p = 250 \qquad n = 4 \qquad j = 14;$$

d'où

$$P = 57 \text{ kg}.$$

Diamètre du toron. — Le diamètre du toron, avant l'application du matelas, sera de 17 mm.

Matelas de jute. — Comme première approximation, prenons pour l'armure un pas pratique de 400 mm, correspondant à

$$p = \frac{400}{1{,}2} = 333.$$

Portons dans l'équation (15)

$$p = 333 \qquad d = 7 \qquad n = 16.$$

On trouve

$$D = 31{,}07 \text{ mm}.$$

Posons

$$0{,}4 < \frac{E - E'}{E} < 0{,}5.$$

La valeur de E' étant de

$$\frac{31{,}07 - 17}{2} = 7{,}035.$$

on aura

$$11{,}72 < E < 14{,}07.$$

En adoptant

$$E = 12$$

on pourra constituer le matelas au moyen de deux couches de fils de jute de 6 mm de diamètre.

Avec une compression de 0,416 on arrivera à la valeur finale de D,

$$D = 31 \text{ mm}.$$

Nombre de fils de jute. — Première couche.

Dans l'équation (16) portons

$$D = 17 \qquad d = 6 \qquad p = 113.$$

On en déduit

$$\cos\frac{\pi}{n_1} = 0{,}9523 \quad \text{et} \quad n_1 = 15.$$

Deuxième couche,

$$D = 29 \qquad d = 6 \qquad p = 150.$$

On trouve

$$\cos\frac{\pi}{n_2} = 0{,}9867 \qquad \text{et} \qquad n_2 = 19.$$

Poids de jute par kilomètre. — On trouve, en appliquant l'équation (24), le poids du fil de jute de 6 mm étant de 14 gr par mètre courant :

Première couche.

$$P_1 = 250 \text{ kg}.$$

Deuxième couche.

$$P_2 = 329 \text{ kg}.$$

B. — *Revêtement du toron.*

Fixation du pas de l'armature. — Dans l'équation (12) portons

$$D = 31 \qquad d = 7 \qquad n = 16.$$

On déduit

$$p = 331.$$

Le pas pratique cherché sera

$$p_f = 331 \times 1{,}2 = 397 \text{ mm}.$$

Dans l'équation (d') faisons

$$p_f = 397.$$

On aura

$$P = \frac{397}{331{,}4} = 1{,}197.$$

Adoptons la combinaison réalisable des roues de pas

$$P' = \frac{50 \text{ dents}}{42 \text{ dents}} = 1{,}190.$$

On aura ainsi le pas définitif

$$p_f = 331{,}4 \times 1{,}190 = 394 \text{ mm}.$$

Poids de l'armure par kilomètre. — L'équation (25) donnera

$$P = 5\,022 \text{ kg}.$$

Pas du guipage. — Première enveloppe.

$$p_{f1} = \frac{394}{4{,}0812 \times 1{,}19} = 81 \text{ mm}.$$

Deuxième enveloppe.

$$p_{r2} = \frac{394}{4{,}0067 \times 1{,}19} = 82{,}6 \text{ mm}.$$

Largeur des rubans. — Première enveloppe.
Dans l'équation (21) portons

$$D = 45 \qquad e = 0{,}9 \qquad p = 81.$$

On trouvera

$$\lambda_1 = 70 \text{ mm}.$$

Deuxième enveloppe.

$$D = 47{,}5 \qquad e = 0{,}9 \qquad p = 82{,}6.$$

On aura

$$\lambda_2 = 72 \text{ mm}.$$

Angles d'enroulement des rubans. — Appliquons l'équation (22).
Première enveloppe.

$$\alpha_1 = 29°30'.$$

Deuxième enveloppe.

$$\alpha_2 = 28°30'.$$

Surface de toile par kilomètre de câble. — On aura, d'après l'équation (26) :
Première enveloppe.

$$S_1 = 144 \text{ m}^2.$$

Deuxième enveloppe.

$$S_2 = 152 \text{ m}^2.$$

Spécification.

			Poids kilométriques.
Toron	4 âmes, d'un développement total de 4032 m		258 kg
	Mèche centrale, un fil de jute de 5 mm	7,5 kg	64,5 »
	Garniture, 4 fils de jute de 6 mm	57 »	
Matelas de jute	1re couche, 15 fils de 6 mm	250 »	579 »
	2e couche, 19 fils de 6 mm	329 »	
Armure, 16 fils de fer galvanisé de 7 mm			5 022 »
Guipage	1re enveloppe, ruban de 70 mm . . . . . 144 m²	Poids avec l'enduit.	432 »
	2e enveloppe, ruban de 72 mm . . . . . 152 »		
	Total		6 345,5 kg

Le diamètre du câble fini sera de 50 mm.

Les exemples qui précèdent suffiront pour montrer le parti que l'on peut tirer de la méthode de calcul exposée et la facilité avec laquelle les formules générales établies per-de résoudre les problèmes que comporte le revêtement des câbles sous-marins.

Paul BAYOL.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Le moteur de tramway, par **G.-T. Hanchett.** — *Street Railway Journal*, t. XVIII, n° 6, p. 521, décembre 1901.

Après avoir évalué la puissance des moteurs dans un projet de traction électrique, on n'arrête son choix sur tel ou tel type de moteur qu'après en avoir étudié toutes les propriétés. Cette étude se fait au moyen de courbes, qui donnent en fonction du courant : 1° l'effort de traction; 2° la vitesse; 3° la loi de l'échauffement; 4° la puissance électrique fournie; 5° le rendement; 6° la puissance mécanique recueillie.

L'effort de traction est lié au couple moteur par un simple facteur de proportionnalité, il pourra être représenté approximativement par $F = KI\Phi$. Dès que Φ devient constant, c'est-à-dire dès que les inducteurs sont saturés, F est

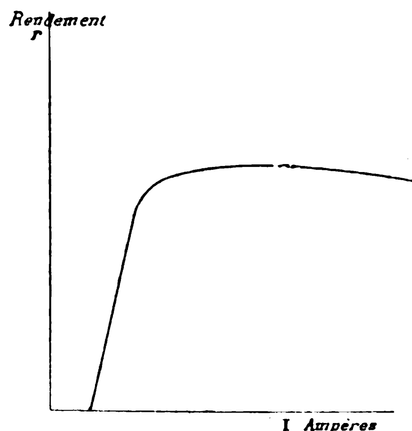


Fig. 1.

proportionnel au courant I. Quelquefois, en vue d'un bon démarrage, on ne sature pas les électros en régime, la courbe des F prend alors une allure parabolique.

La courbe des rendements a la forme indiquée par la figure 1 ; on s'efforce d'avoir le rendement maximum au point de la charge habituelle.

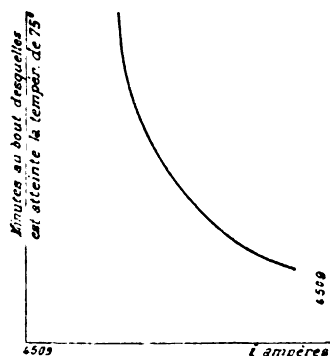


Fig. 2.

On ne suivra pas l'auteur dans l'examen de toutes les courbes pour arriver à celle de l'échauffement.

Un moteur est caractérisé à ce point de vue par le temps qu'il met à atteindre, aux différentes charges, la température de 75° C. C'est la limite qu'on s'est imposée (fig. 2).

L'énergie thermique développée à chaque instant dans le moteur est l'excès de l'énergie électrique fournie sur l'énergie mécanique recueillie. L'afflux de la chaleur suit une loi compliquée et se fait par intermittence.

Au contraire, le refroidissement par rayonnement et conductibilité est continu et dépend de la température du moteur et de celle de l'air ambiant.

Il en résulte qu'un moteur ne pourra supporter que pendant un temps limité une charge donnée. Cette proposition devient toute évidente, si l'on se reporte à l'analogie que présente un réservoir muni d'un étroit orifice d'écoulement et alimenté d'une façon irrégulière. A chaque instant, il ne pourra recevoir qu'une quantité déterminée d'eau, sous peine de déborder, et ce volume dépend de celui déjà contenu dans le réservoir à l'instant considéré.

Dans le cas d'un moteur de traction, on aura, en pratique, à gravir une rampe, après avoir circulé pendant un certain temps en palier. Il s'agit d'évaluer le temps τ, pendant lequel il supportera cette charge. Le temps dangereux τ variera avec la rampe considérée et dépendra du profil général de la ligne.

Soit C le nombre de watts-heure thermiques emmagasinés par le moteur quand il atteint la température dangereuse $T = 75°$.

R le coefficient de rayonnement à la température T, exprimé en watts.

L le nombre d'heures écoulées depuis le commencement du voyage.

E l'énergie thermique dégagée pendant le temps L.

p la puissance thermique dégagée sur la rampe considérée.

Au moment où on attaque la rampe, le coefficient de rayonnement est sensiblement $r = \frac{E}{L}$ (1).

La quantité de chaleur contenue dans le moteur est donc $\frac{C}{R} \cdot \frac{E}{L}$, on pourra donc sur la rampe lui fournir $C - \frac{C}{R} \times \frac{E}{L}$.

(1) En réalité le coefficient moyen r pendant le temps L est $r = \frac{E + E_1 - E_2}{L}$, E_1 et E_2 étant les quantités de chaleur emmagasinée au commencement et à la fin du temps L. Si L est long on peut négliger $E_1 - E_2$ devant E.

Pendant ce temps, le coefficient moyen de rayonnement est $\frac{R+\frac{E}{L}}{2}$, la chaleur fournie par unité de temps est donc $p-\frac{R+\frac{E}{L}}{2}$ et le temps dangereux τ est le quotient :

$$\tau = \frac{C-\frac{C}{R}\cdot\frac{E}{L}}{p-\frac{R+\frac{E}{L}}{2}} = \frac{2C(LR-E)}{R(2pL-RL-E)}$$

C a été obtenu au moyen d'une expérience calorimétrique.

Pour avoir R, on mettait le moteur dans les conditions de la pratique et on livrait au wattmètre le nombre de watts nécessaires pour le maintenir à T°.

C. Battegay.

ÉLECTROCHIMIE

La fabrication du graphite au four électrique par le procédé d'Acheson, par **F. A. J. Fitzgerald**. *Journal of the Society of Chemical Industry*, t. XX, p. 443, traduit dans *Moniteur scientifique du Dr Quesneville*, 4e série, t. XVI, p. 38-40, janvier 1902.

On sait que trois procédés permettent de transformer le carbone amorphe en graphite : 1° par chauffage du carbone au four électrique ; 2° par dissolution d'un excès de carbone dans un métal à haute température et refroidissement; le carbone, en excès, se sépare à l'état de graphite ; 3° par combinaison du carbone, puis destruction de la combinaison.

Le premier procédé est appliqué par la Société « Le Carbone », d'après les brevets Girard et Street; le second n'a pas encore reçu d'applications industrielles; le troisième est précisément celui qu'emploie Acheson.

« En 1891, dit M. Fitzgerald, Acheson, faisant des essais sur la cristallisation du carbone, avait découvert le carbure de silicium, corps qu'on appelle ordinairement carborundum. Ayant reconnu la valeur de ce produit, il en avait entrepris la préparation industrielle. Les fours électriques dont il s'était servi étaient du type incandescent; le courant, passant à travers le corps central d'une variété de carbone granulaire, servait à chauffer un mélange de carbone et de silice. Il trouvait presque toujours, dans ces fours, une couche de graphite dans le voisinage du corps central, et, en examinant de plus près ce corps, il avait constaté qu'il était le résultat de la décomposition du carbure de silicium, la silice ayant été volatilisée et le carbone étant resté à l'état de graphite. Cette constatation et d'autres encore avaient permis à Acheson de conclure que le carbone amorphe peut être tranformé en graphite, en le chauffant, à une haute température, en présence d'oxydes métalliques ou autres, capables de donner naissance à des carbures. Dans ces conditions, le carbone se combine au métal ou au métalloïde, pour former un carbure, qui est alors décomposé, avec mise en liberté de carbone sous forme de graphite. On devrait admettre qu'il est nécessaire, pour transformer un poids donné de carbone en graphite, de partir de la quantité théorique de métal, devant se combiner avec tout le carbone. Mais les essais d'Acheson ont prouvé qu'une quantité de métal beaucoup moindre que la quantité théorique est à même de transformer le carbone en graphite, ce qui l'a fait conclure que la substance carburogène joue le rôle d'un agent catalytique (1).

---

(1) « Le Dr Wilhelm Borchers revendique la priorité de la découverte de cette méthode de production de graphite. Dans le fascicule de septembre 1899 de la *Zeitschrift für Eletrochemie*. journal alors dirigé par Borchers, se trouve un article passant en revue la communication faite par Acheson au Franklin Institute. On peut y lire le passage suivant.

« Bien qu'Acheson prétende avoir découvert, en 1896, » la préparation de graphite en partant de carbone » amorphe (formation et décomposition d'un carbure), » il est acquis que ce n'est qu'à la fin de 1898 qu'il a » fait connaître son procédé. Son brevet provisoire est » daté du 3 novembre 1898, et le brevet définitif est du » 17 janvier 1899, soit près de deux ans après que Bor» chers eut dit dans le fascicule du 7 mars 1897 de la » *Zeitschrift für Elektrochemie :* Je rappellerai briève» ment que toutes les substances, capables de se com» biner chimiquement au carbone, sont plus ou moins » facilement dissociables et favorisent dès lors la cris» tallisation du carbone. J'indiquerai notamment le » bore, le silicium, le titane, le zirconium, le vanadium, » l'aluminium, les métaux du groupe du cérium, le » chrome, le molybdène, le tungstène, l'uranium, le » manganèse, le fer, le nickel, etc. Je crois aussi que le » carbone se combinant, sous forme de gaz ou de va» peurs, à l'hydrogène, le soufre, etc., peut également » amener la cristallisation. »

» Dans ce même mémoire, consacré principalement à la production du diamant, Borchers dit que, sans l'intervention de la pression, dans la formation et la décom-

» Au début, le graphite préparé à l'aide de carbone amorphe, par le procédé d'Acheson, servait à la fabrication d'électrodes nécessaires aux opérations électrolytiques, parce que les électrodes faites en carbone amorphe se désagrègent rapidement.

» Les premiers essais faits sur la graphitisation du carbone avaient montré qu'une grande variété de graphites pouvait être produite par le procédé d'Acheson, et, tout en développant la fabrication industrielle d'électrodes graphitisées, Acheson avait opéré toute une série d'essais, en vue de produire des graphites aussi bons, sinon meilleurs, que ceux que fournissent les mines de graphite. Ayant toujours en vue la forme commerciale de la question, il avait trouvé que c'est l'anthracite, pris comme matière première carbonée, qui donne les meilleurs résultats.

» Le four employé à la préparation de graphite par le procédé d'Acheson consiste en un bassin long et étroit, construit en briques réfractaires et garni d'un revêtement réfractaire approprié. A chacune des extrémités du bassin, se trouve un faisceau composé de 25 baguettes de carbone, de 4 pouces carrés et longues de 34 pouces. Les faisceaux sont réunis, au moyen de forts câbles en cuivre, aux barres amenant le courant. Le four est rempli avec de l'anthracite à travers le centre duquel passe un noyau composé de baguettes de carbone, noyau qui relie les extrémités du four. La présence de ce noyau est de la plus haute importance, parce qu'à froid l'anthracite est un très mauvais conducteur de l'électricité [1].

position, à haute température, de carbures des substances indiquées ci-dessus, il est impossible de produire du diamant et que ce n'est que le graphite qui se forme.

» Dans un travail ayant pour objet les progrès de l'électrochimie en 1899 et dû à Borchers (vol. VIII, de *Mineral Industry*), on trouve un passage à peu près analogue.

» Il est certain que Borchers n'avait pas connaissance
» du brevet américain 568323, relatif à la fabrication de
» graphite et accordé à Acheson, le 29 septembre 1896.
» Le procédé décrit consistait à chauffer les matières au
» four électrique. Il est intéressant de rappeler que, la
» même année où Borchers avait émis sa théorie sur la
» formation du graphite, on avait produit, aux Chutes du
» Niagara, par le procédé d'Acheson, plus de 162000 livres
» de graphite qui ont été lancés dans le commerce. »

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 499, 29 juin 1901, la description d'un four pour la graphitisation des électrodes.

» Le graphite ordinaire, préparé pour les besoins de commerce, renferme au delà de 90 p. 100 de carbone. Pendant l'opération de la graphitisation, la majeure partie des cendres que renferme le charbon est volatilisée, et, comme les cendres de la plupart des charbons consistent principalement en silice, une quantité considérable de silice est volatilisée pendant la marche du four électrique; elle s'échappe parfois sous forme de vapeur et forme une épaisse couche sur les briques extérieures. S'il s'agit de préparer du graphite très pur, on doit tout simplement chauffer assez longtemps, à une température au-dessus du point de volatilisation des impuretés que renferme le charbon. Un échantillon d'anthracite, contenant 5,783 p. 100 de cendres, a été traité de cette manière, et le produit obtenu ne renfermait que 0,033 p. 100 de cendres. Un charbon électrodique, à près de 2 p. 100 de cendres, n'en contenait plus, après l'opération de la graphitisation, que 0,045 p. 100. »

M. Fitzgerald parle ensuite des essais qu'il a faits concernant la résistance du graphite d'Acheson à l'action du mélange d'acide azotique et de chlorate de potassium. Il a constaté que cette résistance est plus grande que celle du graphite naturel de Ceylan.

Il termine par quelques considérations sur les conditions de formation du graphite naturel [1].

[1] « Un grand nombre d'échantillons d'anthracite graphitisé, retirés du four à l'état de masses, ressemblent fortement au graphite de Ceylan. Tous deux semblent être composés de couches, et la principale différence qu'on pourrait admettre réside en ce que la formation du graphite naturel a été accompagnée d'une très forte pression, à supposer que le point de départ eût été le carbone amorphe. Si on pouvait soumettre les masses d'anthracite graphitisé à une grande pression, le graphite artificiel ne se distinguerait vraisemblablement pas du graphite de Ceylan, en ce qui concerne l'aspect extérieur évidemment. Ceci pourrait nous faire supposer que le graphite naturel tire son origine d'une variété de carbone anthraciteux, mais l'expérience suivante semble prouver que tel n'est pas le cas. Un fragment d'anthracite graphitisé a été introduit dans un tube à essai et soumis à l'action du mélange oxydant d'acide nitrique et de chlorate de potassium. Un fragment semblable de graphite de Ceylan a été traité de la même manière. Après que toute action eut cessé, il a été constaté que l'anthracite graphitisé conserve sa forme primitive et qu'il a été superficiellement transformé en oxyde graphitique. Le graphite de Ceylan, d'autre part, a été complètement

....

Action des pressions et des températures élevées sur le carbone, par **Quirino Majorana**. *L'Elettricista*, 1er janvier 1901.

L'auteur estime à au plus 7000 atmosphères et 2000° C. les conditions des expériences de Moissan ; cependant à 3000° C. et une pression de 35000 atmosphères, il n'obtient que des parcelles de diamant plus petites que celles de Moissan ; il attribue ce résultat à la plus grande rapidité de ses expériences et à la non-solubilité du carbone dans le milieu où il le comprimait.

Afin de vérifier cette hypothèse, il eut recours à l'expérience suivante :

Le carbone est pris sous la forme de charbon de cornue (laissant un résidu de 1,5 p. 100 de cendre) ; un cylindre C de cette substance est placé au milieu d'une masse M de magnésite (isolante, infusible et incompressible) dans l'appareil représenté par la figure 1. Un cylindre

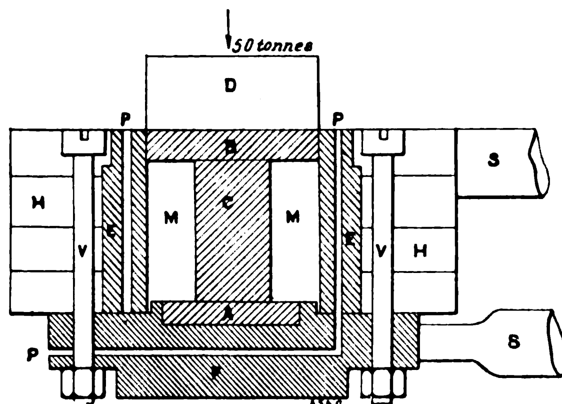


Fig. 1.

en acier E creux et renforcé par des anneaux H tirés d'une plaque de blindage, et assemblés à une plaque de fond F au moyen de huit boulons. Cette plaque est isolée, par des lames de mica, des anneaux H, de E et de V. Des trous P ménagés dans F et E permettent d'établir une circulation d'eau. Le bloc de charbon C est pris entre deux plaques de mêmes substances A, B et traversé par un courant de 2500 ampères amené d'un transformateur spécial aux deux prises de courant SS. La température, développée dans le bloc C par effet Joule, est évaluée à 2000° C. environ.

L'appreil est porté sous une presse qui peut exercer normalement sur le piston D un effort de 50 tonnes. Pour réaliser une compression plus forte, on laisse refroidir la masse de charbon et de magnésie, tout en poussant l'effort de la presse à la dernière limite ; puis on fait passer le courant, la dilatation de la masse réalise un surcroît de pression ; on laisse de nouveau refroidir et on pousse de nouveau le piston D à fond ce qui permet le retrait de la masse ; on remet le courant et ainsi de suite. Les pressions obtenues par cet artifice peuvent être évaluées à 11000 atmosphères environ et n'étaient limitées que par la rupture des parois de la chambre de compression que décélaient de légères fissures.

Quant à la transformation du carbone, d'abord les blocs A, B, C étaient complètement soudés les uns aux autres sous l'action de la pression et de la température ; ils présentaient l'aspect du graphite ; la densité du carbone était passée de 1,77 à 2,28, et 2,395 dans une autre expérience. Les morceaux de graphite de 10 à 12 gr obtenus n'ont pas encore été analysés quant à la nature de carbone qu'elles contiennent ; mais l'augmentation de densité permet d'affirmer d'ores et déjà que la solubilité du milieu et la durée des expériences sont un facteur essentiel de la cristallisation du carbone.

P.-L. C.

Sur l'influence du charbon des anodes dans les phénomènes de l'électrolyse des chlorures alcalins, par **F. Fœrster**. *Zeitschrift für angewandte Chemie*, 1901, p. 647 ; *Moniteur scientifique du Dr Quesneville*, 4e série, t. XVI, p. 41-45, janvier 1902.

L'auteur expose les travaux faits, à son instigation, par L. Sproesser et par Adolph.

Les recherches de Sproesser avaient pour but d'étudier la résistance des charbons aux actions anodiques dans l'électrolyse des chlorures [1]. Elles ont montré que le graphite, et

---

désagrégé, réduit en poudre fine d'un vert très foncé. Nous n'avons point réussi à trouver une variété de carbone amorphe qui, transformé en graphite, se comporte de cette manière qui semble être la caractéristique du graphite de Ceylan. »

[1] « Pour cela, on plaçait verticalement, entre deux lames de platine servant d'électrodes et sans diaphragme intermédiaire, une plaque rectangulaire du charbon à étudier. Cette plaque était munie d'une tige à sa partie supérieure et tout le système des électrodes était placé dans un récipient bouché avec un bouchon de caoutchouc. Le liquide électrolytique employé était une solution à 20 p. 100 de chlorure de sodium, additionnée d'un peu de chromate jaune et maintenue à 60°. On s'est basé sur

particulièrement le graphite préparé par le procédé Acheson, résiste beaucoup mieux que le charbon de cornue et les charbons artificiels; que l'agent de destruction est l'oxygène; que si l'on veut faire l'essai d'une anode en déterminant la rapidité de son attaque dans l'électrolyse d'une solution sulfurique à 20 p. 100, on n'obtient aucun résultat comparable, l'attaque de l'anode étant alors toujours très rapide; que toutes les anodes sont poreuses et que leur attaque croît avec la porosité; enfin que, contrairement à l'opinion courante, les anodes sont moins rapidement attaquées avec une forte densité de courant qu'avec une faible densité.

Les recherches de Adolph [1] furent entreprises en vue de vérifier une assertion de M. Haussermann [2] concernant le rendement des électrolyseurs, dits électrolyseurs à cloche [3].

les importants travaux de Muller pour faire cette addition de chromate. Cet auteur a montré que, dans ce cas, il se forme sur les cathodes une mince pellicule de chromate d'oxyde de chrome qui agit à la façon d'un diaphragme et annule les phénomènes de réduction cathodique qui compliquent beaucoup les réactions anodiques. Dans le circuit, outre la cuve électrolytique et les appareils de mesure du courant, on plaçait 2 voltamètres, l'un à cuivre, l'autre à gaz tonnant. Si, à un moment quelconque, on compare la quantité d'oxygène et d'hydrogène dégagée dans la cuve à celle formée dans le voltamètre à gaz, on obtient l'oxygène, qui existerait dans la solution de chlorure électrolysée s'il n'y avait pas attaque des charbons, à l'état de chlorate et d'hypochlorite. On déduit la valeur moyenne de ce coefficient, pour toute la durée de l'électrolyse, en répétant plusieurs fois cette détermination. D'autre part, on déduit par l'analyse et d'après le poids de cuivre déposé dans le voltamètre la quantité réelle d'oxygène actif en solution. La différence entre les quantités d'oxygène actif déduites de l'analyse des gaz et de cette dernière mesure donne directement la proportion du travail du courant employé à la destruction de l'anode de charbon. »

(1) Voir *Zeits. f. Elek.*, t. VII, p. 58.

(2) *Dingler's Polytech. Journ.*, 315, n° 30.

(3) Le dispositif connu sous le nom de dispositif en cloche vient prendre rang à côté des appareils à diaphragme et à mercure. L'anode horizontale en charbon se trouve dans une large cloche, en substance isolante, ouverte en bas. Extérieurement à celle-ci et au-dessous de la face inférieure de l'anode, est placée la cathode. L'électrolyte pénètre au-dessus de l'anode et sort, par un trop-plein, du compartiment de la cathode. Met-on cet appareil en circuit, il se forme une solution alcaline dans le compartiment extérieur et il se dégage du chlore du compartiment anodique. La réunion des éléments est empêchée par une zone neutre qui se maintient constamment entre l'anode et la cathode. M. Haussermann indiquait qu'on pouvait obtenir une lessive alcaline à 100-150 gr au titre avec un rendement de 85 à 90 p. 100 théorique. On dépasserait ainsi, de beaucoup, le rendement des appareils à diaphragme.

En opérant avec une anode en platine dans la cloche, on obtint tout d'abord du chlore presque absolument pur et de l'hydrate alcalin, en quantité correspondant exactement à la quantité théorique; mais, dès que la concentration de l'hydrate atteignit 28 gr de potasse au litre, le rendement diminua sensiblement, et il se produisit des phénomènes identiques à ceux qu'on observe dans les cuves à diaphragme. En opérant avec une anode en charbon, les phénomènes furent différents : on n'obtint pas le rendement théorique, même au début, mais, par contre, on put avoir des concentrations de l'hydrate très fortes, sans qu'il y ait production d'acide hypochloreux, et l'on pouvait observer, dans la cloche, une séparation très nette du liquide anodique et du liquide cathodique. Suivant M. Foerster, cette différence dans les phénomènes observés, tient à la porosité du charbon et aux réactions qui se produisent dans les pores [1].

Incidemment, M. Foerster fait observer que les phénomènes, assez inexplicables au premier abord, qui se passent dans les électrolyseurs à cloche, constituent pour ceux-ci un avantage important qui sera apprécié en pratique [2].

(1) « L'examen des gaz produits à l'anode donna, dit-il, l'explication de ces phénomènes. Ceux-ci n'étaient pas, même très peu de temps après la fermeture du circuit, comme avec une anode de platine, du chlore pur. Ils renfermaient des quantités, croissant avec le temps, d'oxygène et d'anhydride carbonique. Ces deux gaz étaient dus à la décharge des ions — OH de l'eau dans l'électrolyse des solutions pauvres en chlorure renfermées dans les pores du carbone. Or si l'on décharge les ions — OH de l'eau, il reste des ions + H. Ceux-ci se trouvent, dans la solution anodique, à côté des ions chlore, cette solution renferme donc de l'acide chlorhydrique libre. Mais la vitesse de migration des ions + H est très grande; l'acide chlorhydrique, même en faible quantité par rapport au chlorure, prendra donc fortement part aux phénomènes de transport.

» Dans leur marche vers la cathode, les ions + H rencontrent les ions — OH qui en viennent et ils se déchargent mutuellement en formant de l'eau. C'est ainsi qu'il se forme une zone neutre. C'est ainsi aussi que, dans la masse où l'oxygène se décharge à l'anode, à l'état d'oxygène libre, d'acide carbonique ou de chlorate, le rendement en alcali subit une diminution. »

(2) « M. Adolph a effectué un essai d'assez longue durée à la température ordinaire. En une semaine, avec

En conclusion, il dit :

« Les fabricants tendent à obtenir des anodes toujours moins poreuses et moins riches en cendres mais, d'après leur mode de préparation, on ne peut les obtenir absolument compactes.

» On peut considérer comme le charbon idéal le graphite artificiel de fabrication américaine. Je doute que son introduction présente de grands avantages pour la préparation des alcalis et des hypochlorites — même si son prix le permettait —; mais il faudrait peut-être chercher à en fabriquer des électrodes pour chlorate et diminuer encore, de cette façon, les frais d'installation des appareils. On pourrait, peut-être, en employant une partie des chutes d'eau, dont disposent les usines de chlorates, préparer, au four électrique, du graphite artificiel et éviter ainsi l'emploi du platine iridié. Il faut laisser à l'avenir le soin de répondre à cette question purement économique. »

Sur le rendement qu'on peut atteindre dans la fabrication des hypochlorites et des chlorates alcalins, par **F. Fœrster** et **Erich Müller**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VIII, p. 8, 2 janvier 1902.

I. *Diminution du dégagement d'oxygène pendant la fabrication des hypochlorites.* — L'auteur donne d'abord le tableau comparatif suivant des résultats obtenus par différents expérimentateurs.

EXPÉRIMENTATEUR	TEMPÉRATURE en degrés C	DENSITÉ de courant anodique.	TENEUR par litre d'électrolyte.	TENSION aux bornes en volts.	OXYGÈNE de l'hypochlorite (en grammes par litre)	CHLORE utilisable (en grammes par litre)	RENDEMENT en quantité, en p. 100.
Brochet.	15,5	0,045	200 gr KCl	4,2	5,4	23,5	84,0
E. Muller.	8 — 12	0,075	300 gr NaCl	5,4	4,36	19,3	92,0
E. Muller.	8 — 12	0,075	300 gr NaCl	5,4	5,88	26,0	80,0
Fœrster	13	0,17	280 gr NaCl	5,0	6,8	30,1	82,0
Haber et Grinberg. .	20 — 24	1,0	200 gr KCl	—	5,16	22,84	32,4
Haber et Grinberg. .	18 — 30	2,0	200 gr KCl	—	3,15	13,96	80,0

Tandis que pour obtenir une concentration élevée d'hypochlorite, de hautes densités de courant sont nécessaires, on peut éviter celles-ci par l'emploi du chromate.

La perte d'énergie est produite par le dégagement d'oxygène à l'anode et la formation inséparable de chlorate qui sont d'autant plus élevées que la teneur en hypochlorite est forte. En vue de diminuer ceux-ci, Lorenz et Wehrlin [1] trouvèrent qu'avec une anode platinée, l'hypochlorite peut être obtenu presque sans dégagement d'oxygène ni formation de chlorate et avec la même concentration qu'en prenant une anode en platine poli ; la tension aux bornes étant en outre moindre de 0,6 volt. En recouvrant également de noir de platine la cathode, on obtient un abaissement de 0,4 volt. L'application de ces observations ne put être faite par leurs auteurs qui ne connaissaient pas encore l'action du chromate.

Si on électrolyse une solution de chlorure alcalin additionnée de chromate de potassium, entre des électrodes platinées et à une température faible, on se trouve dans les conditions les plus favorables à la formation d'hypochlorite. On atteint ainsi les valeurs du tableau ci-dessous qui se rapportent à une teneur de 280 gr de chlorure de sodium et 2,5 gr de chromate jaune de potassium par litre. Pour l'essai exécuté en dernier lieu, l'électrolyte ne renfermait que 100 gr NaCl par litre.

une intensité de courant de 2 ampères et une tension aux bornes de 4 volts, il a obtenu 7 litres d'une solution renfermant 80 gr de potasse au litre. Le rendement électrique fut de 82 p. 100 du rendement théorique. Le gaz dégagé à l'anode contenait 96,5 p. 100 de Cl, 1,5 p. 100 O^2 et 2 p. 100 CO^2.

» Nous voyons donc, en fait, que le dispositif de la cloche présente une réelle supériorité sur les appareils à diaphragme tant au point de vue de l'utilisation du courant et de la quantité de sel mis en œuvre qu'à celui du travail dépensé. Ces avantages ne se présentent que si l'on emploie des anodes de charbon et non de platine. La connaissance exacte de la façon dont se comportent les anodes de charbon nous donne immédiatement l'explication scientifique de ce procédé si important pour l'avenir de l'électrolyse. »

(1) *Zeitschrift f. Elektroch.*, t. VI, p. 437.

TEMPÉRATURE en degrés C.	DENSITÉ de courant anodique	TENSION aux bornes en volts.	OXYGÈNE de l'hypochlorite en gr.	CHLORE utilisable par litre.	RENDEMENT en quantité, en p. 100.	WATTS-HEURE nécessités par 1 gr d'oxygène de l'hypochlorite
13	0,017	2,40	4,20	18,6	96	8,4
13	0,017	2,40	5,24	23,2	90	8,95
10	0,07	3,10	6,8	30,1	96	10,84
13	0,017	3,6	5,28	23,4	99	12,2
13	0,017	3,6	8,7	38,5	87	13,5
14	0,017	4,7	5,20	23,0	95	16,6

On voit d'après cela que le rendement en quantité est beaucoup plus élevé avec les anodes platinées qu'avec les anodes polies. D'autre part, le platinage permet d'obtenir avec un rendement satisfaisant des concentrations d'hypochlorite qu'on n'atteignait pas jusqu'ici, telles qu'une teneur de 38,5 gr de chlore utilisable par litre.

L'avantage du platinage est encore plus grand si on considère le rendement en énergie. En effet, la tension de décomposition d'une solution concentrée de chlorure de sodium est égale à 2,2 volts, d'après des recherches antérieures et la vérification, par les auteurs, dans le cas d'électrodes platinées ; il en résulte qu'il faut théoriquement 7,2 watt-heures pour produire 1 gr d'oxygène de l'hypochlorite. Le tableau précédent montre qu'on s'approche beaucoup de cette valeur théorique avec les électrodes platinées, et que pour la concentration la plus élevée en hypochlorite, on ne dépense que 1,8 fois cette valeur.

Antérieurement, pour des solutions n'ayant que le tiers de la valeur de cette dernière comme lessive de blanchiment, on dépensait 3,4 à 5,5 fois l'énergie minima nécessaire.

L'élimination du chromate de potassium, avant l'utilisation de la lessive, se fait très facilement en ajoutant du chlorure de baryum. Après décantage, la solution d'hypochlorite est neutre et incolore.

Pour le platinage des électrodes, on peut se servir d'un bain renfermant 1 gr d'acide chloroplatinique (= 0,38 gr de platine) et 0,008 gr d'acétate de plomb, pour 30 cm³ de solution, et électrolyser à la densité de courant de 0,033 ampères par cm². Avec cette densité de courant, le précipité noir obtenu se tient bien à la cathode ; mais à l'anode, il convient d'employer une densité de courant plus faible, sans quoi il se détache des quantités appréciables de noir de platine pendant l'électrolyse. On n'a pas encore trouvé le moyen d'éviter complètement cet inconvénient. C'est là un problème dont la solution est de la plus haute importance pour l'électrolyse des chlorures alcalins.

Le tableau précédent montre que le rendement baisse avec les concentrations plus élevées en hypochlorite. C'est le même phénomène qui se passe avec les électrodes non platinées, le dégagement d'oxygène s'effectuant à l'anode, en même temps que la transformation en chlorate d'une partie de l'hypochlorite. L'affirmation de Lorenz et Wehrlin qu'à l'anode platinée il n'y a ni dégagement d'oxygène ni formation de chlorate repose sur une erreur. Malgré la diminution de tension du bain de 0,6 volt environ, ces deux actions ont lieu comme avec l'anode polie. D'autre part, la concentration de l'électrolyte, la température et la densité de courant ont sur la concentration en hypochlorite, les mêmes influences ici qu'avec l'anode polie. Dans chaque cas, la formation de chlorate limite la concentration en hypochlorite. La limite que l'on peut atteindre dans les conditions ordinaires est 38,5 gr de chlore utilisable par litre. Cependant par un fort refroidissement, cette valeur peut encore être dépassée.

II. *Diminution du dégagement d'oxygène pendant la fabrication du chlorate.* — Les précédentes recherches de E. Müller ont montré que si, dans l'électrolyse des solutions neutres de chlorures alcalins, le dégagement d'oxygène à l'anode croît avec la teneur en hypochlorite, de même aussi la formation de chlorate s'élève jusqu'à ce que finalement il se produise autant d'hypochlorite qu'il s'en transforme en chlorate. En présence du chromate, ce point arrive lorsque environ un tiers de la quantité d'élec-

tricité est utilisée pour le dégagement d'oxygène à l'anode, et ces proportions restent sensiblement les mêmes en faisant varier dans de grandes limites la concentration du chlorure, la température et la densité de courant ou encore en employant le platinage de l'anode qui amène une forte diminution de la tension du bain. Ce qui varie dans ces diverses conditions, c'est seulement la concentration d'hypochlorite pour laquelle la quantité d'électricité consommée pour le dégagement d'oxygène reste constante, l'autre partie du courant étant utilisée pour la formation du chlorate, Le rendement en quantité de cette opération est donc sensiblement le même quelles que soient les conditions et égal à 64 à 70 p. 100.

On pouvait penser que le dégagement d'oxygène était nécessaire à la formation électrolytique du chlorate ; mais il n'en est pas ainsi suivant les auteurs. D'après ceux-ci la formation électrolytique du chlorate repose sur les mêmes actions que la formation purement chimique qui s'effectue d'après l'équation



$$2HOCl + NaOCl = NaO^3Cl + 2HCl.$$

La vitesse de cette transformation est, d'après la loi d'action des masses, proportionnelle au carré de la concentration de l'acide hypochloreux et à la première puissance de la concentration des anions de l'hypochlorite. C'est donc avant tout la concentration de l'acide hypochloreux qui intervient, ce que les recherches de Fœrster (1) ont confirmé.

Dans l'électrolyse des solutions de chlorure, il se forme de l'hypochlorite par suite de la décharge du chlore à l'anode ; au voisinage de l'anode l'hypochlorite donne de l'acide hypochloreux dont la concentration est d'abord très petite ; mais par suite de l'enrichissement de la solution en hypochlorite, cette concentration devient suffisante pour la formation du chlorate d'après l'équation ci-dessus. Cette formation de chlorate est encore aidée par l'influence de l'électrolyse de l'acide hypochloreux qui se fait à l'anode d'après l'équation.



$$3HOCl = HO^3Cl + 2HCl.$$

Dans l'électrolyse des solutions neutres de chlorures alcalins, l'acide hypochloreux nécessité par ces réactions est produit lorsqu'une partie du courant est employée au dégagement d'oxygène. Pour produire le chlorate sans perte de courant, il faut donc fabriquer dans l'électrolyte l'acide hypochloreux nécessaire, avant que la concentration de l'hypochlorite ait atteint la valeur pour laquelle il se forme de l'acide hypochloreux. Ceci se produit lorsqu'on électrolyse en solution acidulée. A cet effet, Schukert et Cie (1) emploient les bicarbonates alcalins ou un courant d'acide carbonique. D'après E. Müller (2), une addition de carbure de calcium agit dans le même sens par suite de la production d'un diaphragme d'hydrate de calcium diminuant la réduction à la cathode et rendant ainsi acide l'électrolyte primitivement neutre. Le premier procédé a l'inconvénient de ne pas limiter le dégagement nuisible d'oxygène à l'anode. Dans le deuxième procédé, la séparation de l'hydrate de chaux dépend d'influences multiples qui ne permettent pas de régler à volonté la concentration de l'acide hypochloreux.

On peut éviter ces difficultés en additionnant la solution d'un acide fort dont les anions en présence des ions chlore ne donnent pas lieu à un dégagement de chlore, et en quantité telle qu'on obtienne les proportions d'hypochlorite et d'acide hypochloreux les plus favorables à la formation purement chimique du chlorate.

Comme l'acide chlorhydrique ajouté au début s'électrolyse de telle sorte que l'électrolyte devient ensuite très peu acide, les auteurs procèdent comme suit : ils soumettent à l'électrolyse une solution neutre de chlorure alcalin et lorsque, dans les conditions de l'essai, la plus haute valeur de la concentration en hypochlorite est atteinte, ils ajoutent une quantité d'acide au plus équivalente au sel hypochloreux existant. Avec une anode en platine poli, le chlorate est ainsi obtenu avec un rendement en quantité voisin de 90 p. 100.

Dans les essais effectués dans le but de démontrer cette influence, on prenait 450 cm³ d'une solution renfermant 28 gr. NaCl dans 100 cm³ ; les électrodes étaient constituées par trois lames de platine verticales, l'anode étant

(1) *Journal f. prakt. Chemie*, t. LXIII, p. 141.

(1) Brevets allemands nos 83856 et 89844.

(2) *Zeitschr. f. anorgan. Chemie*, t. XXII, p. 57-65.

au milieu. La surface totale de l'anode atteignait 30 cm², l'intensité était de 3,5 ampères, soit une densité de courant anodique de 0,117 ampères : cm². Pour avoir sans complication l'action de l'acide ajouté, on n'introduisait pas de chromate de potassium.

Essai 1

Température 80 à 83° C. — *Tension* 4,5 volts. — *Anode* : tôle de platine uni.
Cathodes : électrodes à grille en platine.

TEMPS depuis le commencement de l'électrolyse, en heures.	RÉDUCTION	DÉGAGEMENT d'oxygène	RENDEMENT	OXYGÈNE en grammes p. 100 cm³		OXYGÈNE en grammes perdu par volatilisation de HOCl ou de Cl².	NaCl contenu dans 100 cm³ de la solution.
	en p. 100 de la quantité d'électricité.			dans NaOCl.	dans HOCl.		
3 3/4	22,4	11,7	65,9	0,096	0,000	—	—
4 1/4	On ajoute 0,08 gr HCl dans 2 cm³						
6	13,6	8,2	78,2	0,036	0,020	—	—
21 3/4	12,9	12,4	74,7	0,122	0,012	—	—
22	On ajoute 0,08 gr HCl dans 2 cm³						
27	4,7	8,3	87,0	0,031	0,025	—	—
45 1/3	5,8	11,5	82,7	0,088		—	—
45 1/2	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³						
47	4,1	9,5	86,4	—	—	—	—
47 1/3	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³						
50 1/3	3,5	9,2	87,3	—	—	—	—
53	3,8	9,4	86,8	0,048		—	—
69	4,3	8,9	86,9	0,074	0,014	—	—
75 1/2	4,2	14,5	81,3	—	—	—	—
76	On enlève 40 cm³ d'eau et on additionne de 0,04 gr HCl						
77	2,1	11,9	86,0	0,016	0,024	—	12,0
94	3,5	13,9	82,6	0,058	0,012	—	—
94 1/4	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³						
103	3,8	17,9	78,3	0,056		—	6,9
118	2,8	23,2	74,0	0,040	0,016	—	—
126 1/2	3,7	25,6	70,7	0,064		—	2,16
142 1/3	0,9	36,8	62,3	0,024		—	0,18
143 1/3	1,4	36,6	62,0	0,024		0,107	0,12

Rendement de l'essai 65,7 p. 100 en amp.-heures.

Cet essai montre comment l'addition d'acide diminue l'oxygène de l'hypochlorite existant et en même temps le dégagement d'oxygène à l'anode ; ces quantités tendent toujours à augmenter à nouveau, dans le cours de l'électrolyse par suite de la volatilisation d'acide hypochloreux où de chlore. Tant que la teneur en chlorure de sodium reste au-dessus de 12 gr pour 100 cm³, le dégagement d'oxygène correspond à 9 à 10 p. 100 de la quantité d'électricité ; cette valeur s'élève quand la concentration devient plus faible. Dans la dernière partie de l'électrolyse, il se formait une quantité assez grande de perchlorate, de sorte que le rendement en chlorate devenait plus faible que celui correspondant à l'analyse des gaz.

Dans les essais suivants effectués par les auteurs, on ajoutait à l'électrolyte 0,2 gr de chromate de potassium par 100 cm³ et on acidifiait à l'acide chlorhydrique, au début de l'électrolyse, de façon à rendre la solution 0,025 normale.

Ces essais montrent l'amélioration du rendement par l'addition de chromate, pour des concentrations très variables de chlorure (dans l'essai 3 la concentration finale était égale à 38 p. 100 de la concentration initiale). Comme la vitesse de transformation de l'oxygène de l'hypochlorite en oxygène de chlorate augmente avec la température ; pour obtenir l'action la plus favorable, on devra rajouter une quantité d'acide d'autant plus élevée que la température sera basse.

Essai 2

Température 15° C. — *Tension* 4,7 à 5,15 volts. — Toutes les électrodes en tôle de platine poli.

Temps depuis le commencement de l'électrolyse en heures.	Réduction	Dégagement d'oxygène	Rendement	Oxygène en grammes p. 100 cm³. dans NaOCl.	Oxygène en grammes p. 100 cm³. dans HOCl.	Oxygène en grammes perdu par volatilisation
	en p. 100 de la quantité d'électricité.					
0,5	—	—	—	0,092	0,016	0,0505
1	0,0	3,5	96,5	0,204	0,016	—
1,5	—	—	—	0,300	0,016	—
2	0,0	7,3	92,7	0,404	0,016	—
3	0,0	11,9	88,1	0,552	0,016	—
4	0,0	26,7	73,3	0,662	0,016	—
24	4,2	22,6	73,2	0,600	0,016	0,0019
24,83	On ajoute 0,4 gr HCl dans 10 cm³					
26	6,3	18,1	75,6	0,556	0,08	—
26,08	On ajoute 0,4 gr HCl dans 10 cm³					
27	6,0	13,2	80,8	0,394	0,132	—
27,08	On ajoute 0,4 gr HCl dans 10 cm³					
30	2,9	7,2	89,9	0,158	0,178	—
30,11	On ajoute 0,4 gr HCl dans 10 cm³					
31,33	3,7	5,7	90,6	0,068	0,204	0,0112

Essai 3

Température 50 à 51° C. — *Tension* 4,0 à 4,6 volts. — Toutes les électrodes en tôle de platine poli.

Temps depuis le commencement de l'électrolyse en heures.	Réduction	Dégagement d'oxygène	Rendement	Oxygène en grammes p. 100 cm³ dans NaOCl.	Oxygène en grammes p. 100 cm³ dans HOCl.	Oxygène en grammes perdu par volatilisation
	en p. 100 de la quantité d'électricité.					
0,17	—	—	—	—	—	0,0426
0,33	—	—	—	—	—	0,0040
0,50	0,0	3,4	96,6	0,072	0,024	traces
1	2,8	5,2	92,0	0,144	0,024	—
2	6,0	8,3	85,7	0,228	0,024	—
3	5,9	9,1	85,0	0,260	0,024	—
6	7,2	10,4	82,4	—	—	—
23,75	6,9	9,4	83,7	0,260		0,0055
24	On ajoute 0,4 gr HCl dans 10 cm³					
25,5	4,3	7,7	91,0	0,60	0,104	—
26	4,0	5,0	91,0	—	—	0,011
48	2,5	5,3	92,2	0,08	0,04	0,040
50	On ajoute 0,16 gr HCl dans 12 cm³					
71	3,7	6,3	90,0	0,096	0,036	0,033

Rendement total de l'essai 88,94 p. 100 en amp.-heures
Perte par volatilisation 0,19 »

La formation de chlorate atteint sa plus grande vitesse pour un rapport ROCl : HOCl compris entre 2 : 1 et 1 : 2. Un plus grand excès d'acide hypochloreux devient nuisible car il augmente la perte par volatilisation. On peut remarquer que l'addition d'acide devrait être préjudiciable à la formation du diaphragme résultant à la cathode de l'addition de chromate ; mais la haute densité de courant, comme celle qui règne aux cathodes à grille permet d'écarter cet inconvénient, en augmentant la tension.

Dans les essais 2 à 5, la quantité supplémen-

Essai 4

Température 81 à 82° C. — *Tension* 3,75 à 3,98 volts. — Toutes les électrodes en tôle de platine poli.

Temps depuis le commencement de l'électrolyse en heures.	Réduction	Dégagement d'oxygène	Rendement	Oxygène en grammes par 100 cm³		Oxygène en grammes perdu par volatilisation.
	en p. 100 de la quantité d'électricité.			dans NaOCl.	dans HOCl.	
0,17	—	—	—	—	—	0,042
0,33	—	—	—	—	—	0,002
0,50	7,2	6,1	86,7	0,038	0,025	traces
1	8,6	5,9	85,5	0,038	0,025	—
1,08	On ajoute 0,08 gr HCl dans 1 cm³					
1,41	7,5	6,5	86,0	0,034	0,030	—
3,41	6,9	6,4	86,7	—	—	—
3,50	On ajoute 0,08 gr HCl dans 1 cm³					
4	6,2	5,5	88,3	0,012	0,034	—
4,50	7,0	6,2	86,8	0,006	0,034	0,023
22	0,0	7,3	92,7	0,054	0,024	0,0245

Rendement total de l'essai 87,2 p. 100 en amp.-heures
Perte par volatilisation 0,4 »

Essai 5

Température 75 à 82° C.— *Tension* 4,15 à 4,3 volts.— *Anode :* tôle de platine poli.— *Cathodes :* électrodes à grille.

Temps depuis le commencement de l'électrolyse en heures.	Réduction	Dégagement d'oxygène	Rendement	Oxygène en grammes par 100 cm³	
	en p. 100 de la quantité d'électricité.			dans NaOCl.	dans HOCl.
—	On ajoute au début 0,08 gr HCl dans 2 cm³, à l'électrode neutre				
2,25	1,0	16,2	82,8	0,08	
2,50	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³				
2,83	0,3	13,3	86,4	0,016	0,024
3	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³				
3,25	0,0	10,1	89,9	—	—
7,50	0,0	11,6	88,4	0,040	0,016
8,75	On ajoute 0,04 gr HCl dans 1 cm³				
25	0,0	13,9	86,1	0,067	0,019
25,25	On ajoute 0,08 gr HCl dans 1 cm³				
48	2,5	15,3	82,2	—	—

Rendement total de l'essai 88,3 p. 100 en amp.-heures
Perte par volatilisation 0,16 »

taire d'acide ajouté à l'électrolyte était presque toujours très supérieure à celle (0,17 gr HCl) nécessaire à la transformation des 0,9 gr de chromate de potassium ajouté, en bichromate ; mais pendant l'électrolyse, la concentration des ions hydrogène nécessaire à la formation du bichromate, n'était pas atteinte. C'est ainsi qu'au début de l'électrolyse, l'addition d'acide a transformé la coloration jaune de la solution en coloration rouge jaune due au bichromate ; tandis qu'après fermeture du circuit l'électrolyte est redevenu à nouveau jaune malgré les additions

continuelles d'acide, et est resté ainsi tant qu'il y a eu encore de l'hypochlorite ; quand tout celui-ci a été transformé en chlorate, l'acide a agi alors et le chromate est passé à l'état de bichromate, la solution devenant alors jaune rouge.

Dans les essais ci-dessus, on est arrivé à diminuer beaucoup le dégagement d'oxygène, mais non à le supprimer. En remplaçant l'anode en platine poli par une anode en platine platiné, les auteurs sont parvenus, en acidifiant et en ajoutant du chromate de potassium, à des rendements en chlorate très voisins de la valeur théorique. C'est ce qu'indique le tableau suivant.

Essai 6

Température : 13° C. — *Électrodes :* Tôles de platine platiné. — *Intensité :* 3 à 3,5 amp., soit 0,117 amp. : cm².

TEMPS depuis le commencement de l'électrolyse, en heures.	TENSION du bain, en volts.	RÉDUCTION	DÉGAGEMENT d'oxygène.	RENDEMENT	OXYGÈNE, EN GRAMMES, pour 100 cm³.		OXYGÈNE en grammes, perdu par volatilisation.	NaCl contenu dans 100 cm³ de la solution.
		En p. 100 de la quantité d'électricité.			Dans NaOCl.	Dans HOCl.		
0,50	—	0,3	0,7	99,0	—	—	—	—
0,83		On ajoute 0,08 gr HCl dans 2 cm³.						
1,08	—	—	—	—	0,252	0,028	—	—
1,25		On ajoute 0,08 gr HCl dans 2 cm³.						
1,41	—	0,9	1,1	98,0	0,302	0,038	—	—
1,58		On ajoute 0,08 gr HCl dans 2 cm³.						
1,91	3,62	0,0	1,1	98,9	0,380	0,052	—	—
2,17		On ajoute 0,4 gr HCl dans 1 cm³.						
2,25	—	—	—	—	0,465		—	—
2,33		On ajoute 0,8 gr HCl dans 2 cm³.						
2,41	—	0,7	2,6	96,7	0,464		—	—
7,25	—	0,4	1,6	98,0	0,296		—	—
22,25	3,70	1,5	1,5	97,0	0,162	0,174	—	—
70,50	4,00	2,2	4,1	93,7	0,156	0,144	0,059	10,14
94	4,30	2,2	11,8	86,0	0,108	0,132	0,0125	5,64

Rendement total de l'essai . . . . 94,45 p. 100 en ampères-heures.
Perte par volatilisation. . . . . 0,08 » »

Comme on voit, le rendement en chlorate est aussi élevé qu'on peut l'espérer et il se maintient jusqu'à transformation en chlorate des 2/3 du chlorure d'une solution saturée. Il possède encore une très bonne valeur en poussant la transformation jusqu'aux 4/5.

En prenant comme tension moyenne 3,66 volts et comme rendement en quantité 98 p. 100 pour les premiers jours, on trouve qu'il faut dépenser 12,5 watts-heure pour produire 1 gr d'oxygène du chlorate, la valeur théorique étant 7,4 watts-heure. On peut s'approcher encore davantage de cette valeur en diminuant la densité de courant qui atteint ici 1 170 ampères par m².

L. Jumau.

Procédé E.-A. Ashcroft et J. Swinburne pour le traitement des minerais sulfurés complexes. *L'Industrie électrochimique*, t. V, p. 78

Le procédé, appelé procédé Phœnix, consiste :

1° A déplacer par le chlore, le soufre combiné aux métaux contenus dans le minerai [1] ;

[1] Pour le déplacement du soufre par le chlore, les inventeurs utilisent un convertisseur dans lequel on introduit à la température voulue un mélange des sulfures à traiter avec du chlorure de zinc en fusion. L'introduction du chlore se fait par le bas du convertisseur et le chargement de la matière à traiter se fait par le haut. Le soufre qui distille est conduit dans une chambre de condensation. On continue le chargement du minerai et le soufflage de chlore jusqu'à ce que le convertisseur soit rempli de chlorure fondu et de gangue. Cette dernière

2° A remplacer un métal par un autre (¹), par précipitation par un métal dans le mélange de chlorures en fusion (ou par électrolyse fractionnée du mélange de chlorures fondus) ;

3° A séparer la gangue siliceuse des chlorures métalliques par dépôt et décantation, et à lixivier les résidus avec de l'eau (ou à séparer par distillation, les chlorures des résidus). A purifier le chlorure de zinc, à évaporer la solution de lavage et à préparer le chlorure pour l'électrolyse (²) ;

4° A électrolyser le chlorure de zinc pour en séparer le métal et le chlore ;

est inattaquée à cette température et est en suspension dans le chlorure en fusion. On fait couler la plus grande partie du contenu du convertisseur. La matière qui reste dans le convertisseur maintient une température assez élevée au convertisseur pour que l'on puisse continuer à le charger de minerai et à souffler du chlore.

Dans un essai de traitement de 1 000 kg de minerai ayant duré douze heures, la quantité de chlore consommée a été de 470 kg, la quantité de soufre récupérée a été de 100 kg et le rendement en chlorures de 1 200 kg. Le minerai renfermait :

Plomb	29 p. 100
Zinc	26 »
Soufre	21 »
Gangue	17 »
Fer	5 »
Manganèse	2 »
Argent	589 gr à la tonne.

Le mélange de chlorures renfermait 23 p. 100 de plomb, 21 p. 100 de zinc, 13,5 p. 100 de gangue en suspension en plus, du fer, du manganèse et du chlore. La quantité d'argent s'élevait à 470 gr à la tonne.

(¹) L'argent et l'or, s'il y en a, sont séparés par agitation du mélange de chlorures en fusion avec du plomb. On obtient ainsi un alliage riche renfermant la totalité des métaux précieux. Le plomb est séparé par addition de zinc métallique qui passe à l'état de chlorure, mais qui est récupéré dans la quatrième phase du procédé. Avant d'électrolyser le chlorure de zinc, il faut en éliminer le fer. Cette élimination est faite pendant l'opération au convertisseur, en y insufflant de l'air, qui fait passer le fer à l'état de Fe^2O^3 qui reste avec la gangue.

(²) La séparation de la gangue et des oxydes de fer et de manganèse se fait par une série de décantations. Lorsqu'on ne peut plus faire de décantations, on lixive la gangue à l'eau, on concentre la solution, on l'évapore et on l'électrolyse pendant un certain temps pour éliminer les traces d'eau, de fer, de plomb et d'autres impuretés.

On utilise pour cette électrolyse une forme bon marché d'électrode en carbone, car ce dernier est brûlé par l'oxygène libéré. Le chlorure ainsi purifié est mélangé au chlorure obtenu par décantation.

5° A comprimer le chlore à une pression donnée nécessaire.

L'électrolyseur employé dans la quatrième opération se compose d'une cuve de fer de 1,80 m de diamètre revêtue intérieurement d'une garniture de briques réfractaires de 0,45 m d'épaisseur.

Dans le fond de la cuve, se trouve environ une tonne de zinc en fusion formant la cathode. Cette masse de zinc est reliée au conducteur négatif par l'intermédiaire d'un bloc de fonte inséré dans le fond de la cuve. L'électrolyseur est fermé par un couvercle en fer auxquel sont fixées 120 anodes en charbon de 6 cm de diamètre, qui plongent de 15 centimètres dans l'électrolyte.

L'intensité du courant est de 3 000 à 4 000 ampères, et la tension de 4 à 5 volts.

La production d'un électrolyseur est d'une tonne par semaine.

Le chlore est comprimé dans des appareils spéciaux, pour être utilisé ensuite au convertisseur.

La pureté du zinc obtenu est de 99,80 p. 100.

Procédé Simon pour le traitement des cuivres gris. *L'Industrie électrochimique*, t. V, p. 79.

Le procédé Simon pour le traitement électrométallurgique des cuivres gris et en général de tous les minerais complexes contenant du cuivre, du plomb, de l'antimoine et de l'argent, consiste :

1° A traiter à chaud le minerai par une dissolution de sulfure de sodium dans des proportions telles qu'il y ait trois molécules de sulfure de sodium pour une molécule de sulfure d'antimoine (¹). On électrolyse la solution avec une

(¹) On trouvera dans le *Traité d'Électro-Métallurgie*, de Borchers, tous les renseignements voulus sur l'extraction de l'antimoine par le sulfure de sodium et la précipitation électrolytique du métal. D'après Borchers, la décomposition a lieu de la manière la plus convenable lorsqu'il y a un atome de sodium pour un atome de soufre, c'est-à-dire trois molécules de sulfure Na^2S par molécule de trisulfure d'antimoine Sb^2S^3. Une plus grande teneur en soufre ou une plus faible teneur en sodium donne lieu à la séparation du soufre, ce qui produit une perturbation dans la marche du processus, tandis qu'une teneur plus faible en soufre ou une teneur plus grande en sodium augmente la résistance de la conductibilité électrique.

A la solution qui ne doit pas marquer plus de 12°B.

densité de courant de 4 à 6 milliampères par centimètre carré.

Le rendement est de 85 p. 100.

2° A griller le minerai lixivié.

Si la proportion de plomb est très forte, on procède à une fusion de concentration pour matte et plomb d'œuvre. On élimine ainsi la plus grande partie du plomb.

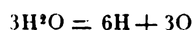
3° A traiter l'électrolyte par l'acide sulfureux qui provient du grillage du minerai. Il se précipite du soufre et il se produit de l'hyposulfite.

L'opération de la fonte pour matte est faite suivant les principes connus. Dans tous les cas, il se produit du plomb d'œuvre, qui entraîne une certaine quantité d'argent. S'il n'y en a pas suffisamment, on en ajoute, de manière à ce qu'il y ait 50 à 60 kg de plomb pur pour 1 kg d'argent. Les mattes pulvérisées préalablement, sont traitées ensuite dans un four à mouffle pour grillage chlorurant.

On place ensuite la matière grillée dans des bacs dont le fond est garni de matière filtrante (coke ou scorie). On lave d'abord à l'eau chaude, puis avec les eaux acides provenant de la condensation des vapeurs de chloruration ; on réunit les eaux de lavage, on en précipite l'argent par le cuivre, et le cuivre par le fer.

(9 à 10° B. bouillante) on ajoute 3 p. 100 de sel marin. Ce dernier favorise la séparation du sulfure de fer dissous et diminue la résistance électrique de l'électrolyte. Comme électrolyseurs on doit employer des cuves en fer. Celles-ci servent de cathodes. On y suspend des plaques de fer de manière à augmenter la surface cathodique. Comme anodes, on emploie des plaques de fer. La tension de courant nécessaire est de 2 à 2,5 volts avec une densité de courant de 40 à 50 ampères par mètre carré.

Suivant Borchers les processus chimiques qui se passent pendant l'électrolyse seraient probablement les suivants : trois molécules d'eau sont d'abord décomposées par le courant d'après l'équation :



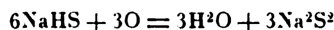
$$3H^2O = 6H + 3O$$

A la cathode, la décomposition aurait lieu d'après l'équation :



$$Sb^2S^3 + 3Na^2S + 6H = Sb^2 + 6NaHS$$

A l'anode d'après l'équation :



$$6NaHS + 3O = 3H^2O + 3Na^2S^2$$

La circulation de l'électrolyte étant imparfaite, il se produit encore, lors de l'électrolyse, d'autres décompositions comme le démontre la présence d'hydrosulfite et d'hyposulfite de sodium.

Suivant la densité du courant, l'antimoine est précipité à l'état pulvérulent ou sous la forme d'écailles brillantes. Une partie adhère aux plaques de fer, l'autre partie tombant au fond des électrolyseurs.

Le métal adhérent aux cathodes peut être enlevé à l'aide de brosses d'acier. L'antimoine recueilli est lavé, desséché et fondu avec du verre d'antimoine (oxysulfure d'antimoine) on obtient de cette façon un métal très pur.

Nous rappellerons que Engelhardt, directeur des travaux électro-chimiques de la Société Siemens et Halske, de Vienne, est arrivé à précipiter l'antimoine sous forme de plaques de couleur grise, de 2 mm d'épaisseur. Ces plaques sont striées et mamelonnées sur le côté en contact avec l'électrolyte, et lisses sur le côté opposé. Cet antimoine électrolyte brut titre 99,69 p. 100 et après raffinage 99,98 p. 100.

TÉLÉGRAPHIE

Télégraphe imprimant G. Musso. *Bolletino delle Finanze, Ferrovie e Lavori publici, Industrie e Commercio.*

Le dispositif électrique représenté par la figure 1 a été imaginé par l'auteur pour l'actionnement simultané de deux machines à écrire, d'une construction spéciale, placées l'une à la station d'émission et l'autre à la station réceptrice de deux postes télégraphiques.

L'appel d'un poste à l'autre s'effectue à l'aide du commutateur 25 à ressort de rappel. Ensuite, pour la transmission d'une dépêche, on abaisse l'une des touches 1, 2, 3, 4, 5, etc., de la machine à écrire, dont les conducteurs formés tous de fils de résistance variable se réunissent en 19, le courant de la pile 31 traverse le solénoïde 29 de manière à lui faire repousser son armature 48 qui vient en 43, 44, fermer le circuit d'une seconde pile 42 sur l'électro 38. L'armature 37 de ce dernier étant attirée, les barrettes transversales 22, 26, solidaires de l'armature par le prolongement de son axe, se déplacent des contacts 35 et 36 pour venir occuper 34 et 35 et lancer le courant dans l'appareil récepteur 66. Ainsi qu'on le voit par l'examen de la figure, ce dernier a la forme d'une petite machine électrique dont les projections polaires sont évidées pour permettre la rotation d'un induit 49, calé sur le même axe que la grande roue dentée 50 sur laquelle engrène une autre petite roue dentée 51 qui entraîne l'aiguille de contact 52. Cette dernière est disposée pour manœuvrer librement au-dessus des touches de contact 55, 55, 55 pendant son

déplacement d'un angle à l'autre; elle porte à cet effet en 61 un petit aimant permanent qui, quand le courant ne traverse pas l'appareil, est attiré et avec lui l'aiguille qui vient appuyer ses deux contacts 54 et 55 sur ceux correspondants aux touches de la machine à écrire réceptrice

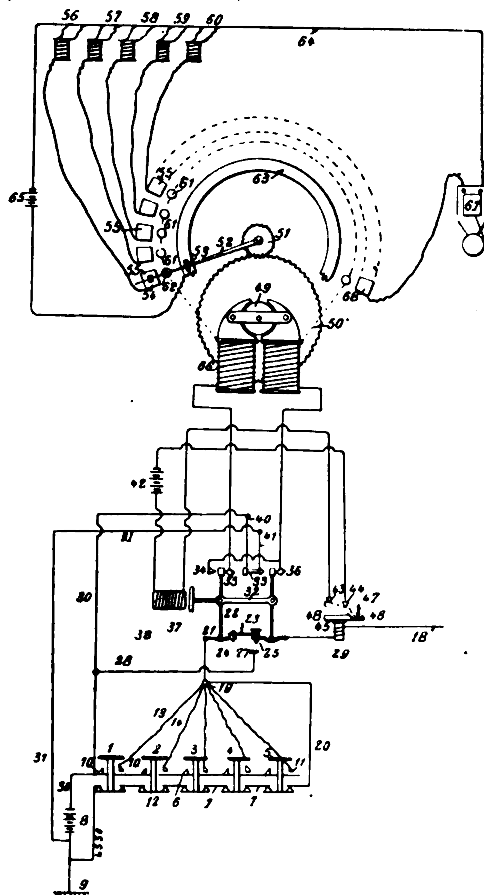


Fig. 1.

et à la bande 63 de la sonnerie d'appel. Mais, dès que le courant est lancé en 66, une dérivation va renverser les pôles de petits électros 61, 61, 61 qui retiennent l'aimant permanent et leur font repousser ce dernier pour libérer l'aiguille et lui permettre de prendre une position au-dessus du contact correspondant à celui de la transmission. Aussitôt ce circuit rompu, leur polarité est changée à nouveau et l'aimant de l'aiguille étant attiré, les deux contacts de celle-ci ferment le circuit 65 sur l'une des touches 56, 57, 58, etc., de la machine à écrire et sur la sonnerie 67. L. Duet.

DIVERS

Sur l'action des corps électrisés sur les lampes à incandescence, par **M. Perreau**. Communiqué par l'auteur.

Ces expériences ont eu pour point de départ l'observation suivante faite à l'usine Solvay de Dombasle : Une lampe à incandescence placée dans le voisinage d'une courroie se brisait très fréquemment. Cet effet plutôt désagréable a disparu en plaçant dans le voisinage de la courroie une pointe reliée au sol.

D'après cela il était manifeste que le bris de la lampe était produit par le fait bien connu de l'électrisation de la courroie par frottement.

J'ai alors placé une lampe à incandescence dans le voisinage d'un corps à haut potentiel variable (Boule en communication avec un pôle d'une machine de Holtz).

Les deux principaux phénomènes observés furent les suivants :

1° Avec un grand nombre de lampes à 220 volts dont le filament était sans doute assez flexible, on observa que ce filament prenait un mouvement de vibration assez rapide qui en amenait fatalement la rupture quand la lampe était allumée par suite du contact de deux portions du filament.

Animé de ce mouvement vibratoire, le filament paraissait plus épais, mais malgré cela, on constata au photomètre que l'intensité lumineuse horizontale de la lampe restait la même.

2° Par suite de l'électrisation par influence, des étincelles jaillissaient entre la douille extérieure de la lampe et les prises de courant. Il se détermina même ainsi un court-circuit à l'intérieur de la douille qui amena la rupture de la lampe et la fusion des coupe-circuits. Ces étincelles étaient supprimées en mettant la douille en communication avec le sol.

Ces phénomènes pourront peut-être servir à expliquer ceux que présentent les lampes à incandescence en temps d'orage.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 21 février 1902.

M. Mercadier expose son ***Système de télégraphie multiplex***, en insistant surtout sur les nouvelles dispositions dues à M. Magunna et M. Porchon, ingénieurs de la Société des télégraphes multiplex.

Le principe du système consiste à transmettre des vibrations d'une fréquence déterminée, engendrées par une série de diapasons, à une série correspondante de lames vibrantes accordées à chaque diapason. Chaque lame reste à peu près insensible aux vibrations qui n'ont pas sa fréquence propre et les oscillations électriques complexes qui résultent, dans la ligne, de la superposition des vibrations périodiques de différentes fréquences sont, à l'arrivée, ana-

Fig. 1.

lysées par les appareils récepteurs. La loi de la superposition des petits mouvements trouve ici une vérification remarquablement étendue, car, dans le système actuel, on peut faire fonctionner simultanément, à la transmission et à la réception, 12 appareils qui se comportent chacun sensiblement comme si les autres n'existaient pas. Aucune difficulté de principe n'empêcherait d'ailleurs d'élever encore le nombre des appareils.

On doit distinguer, dans le fonctionnement du système, quatre circuits, qui ne sont en communication par aucun point et qui ne réagissent les uns sur les autres que par induction : 1° le circuit transmetteur; 2° la ligne, qui peut être simple, avec deux terres, ou même double; 3° le circuit récepteur; 4° le circuit extincteur qui annule l'action qu'exerceraient les transmetteurs d'un poste sur les récepteurs du même poste, et permet le fonctionnement en duplex.

1° Le circuit transmetteur C*t* (fig. 1) qui comprend le fil gros et court figuré en entier en B*le*, reçoit le courant par une série de dérivations qui traversent les secondaires 2 des transformateurs T. Le fil primaire 1 est en dérivation sur la bobine qui sert à l'entretien du diapason E, dit *électrodiapason inductophone;* il est identique au fil 2.

Quand les résistances du fil 1 et de la bobine sont à peu près égales (3 ou 4 ohms), l'intensité

devient suffisante pour la transmission à longue distance, à condition de mettre en P deux ou trois éléments Bloc à grande surface.

Les dérivations du circuit transmetteur sont fermées par un manipulateur Morse *mn*; quand la clé est abaissée, le circuit reçoit une série périodique de courants, qui se réduit sensiblement à un courant ondulatoire, car la présence de l'étincelle empêche la rupture totale du courant entre les styles d'acier S et les rondelles de platine A.

M. Mercadier fait fonctionner un petit téléphone, mis en dérivation sur le circuit transmetteur, pour montrer que la fréquence du courant envoyé au circuit est bien la même que celle du diapason excitateur.

La figure représente trois de ces diapasons; il faudrait la compléter pour en figurer une série de 12 dont les fréquences vont en variant par demi-tons de si_3 à la_4 dièze (si_3, ut_4, ut_4 dièze...), soit de 480 vibrations doubles à 900 environ par seconde.

Le transmetteur agit sur la portion de la ligne C*l*, qui est contenue dans le transformateur B*le*; le primaire est gros et court; il importe, en effet, que les différentes dérivations des secondaires des transformateurs T n'agissent pas sensiblement les uns sur les autres; quelque faible que soit la probabilité pour que le fonctionnement simultané de 12 manipulateurs transmettant des phases quelconques amène à la fois toutes les clés en contact, la pratique a cependant démontré que, si la résistance de chacun des circuits 2 n'était pas suffisamment grande, il pourrait arriver que les circuits réagissent l'un sur l'autre. C'est ce qui a amené à abaisser autant que possible la résistance du circuit transmetteur; autrefois, le circuit agissait sur C*l* et sur le circuit C*e* d'extinction, dont nous parlerons plus loin, en passant dans deux transformateurs distincts; MM. Magunna et Porchon ont réduit la longueur du circuit transmetteur en faisant passer les trois circuits dans une même bobine B*le*.

2° Le circuit de ligne C*l* reçoit et transmet les courants émis par le transmetteur; dans la figure, la ligne est double; la partie droite est occupée par un appareil dont nous parlerons plus loin. La ligne vient passer en *fl*, dans un transformateur où le courant qui la traverse agit sur le circuit récepteur.

3° Le circuit récepteur C*r*,*fr* comprend une série de 12 monotéléphones (fig. 2), reliés en série, en surface ou en un couplage mixte; la figure 1 en représente trois.

La membrane, qui a environ 1 mm d'épaisseur, n'est pas encastrée; elle est tout simplement maintenue par trois tiges *t*, qui la traversent, en trois points de la ligne nodale du pre-

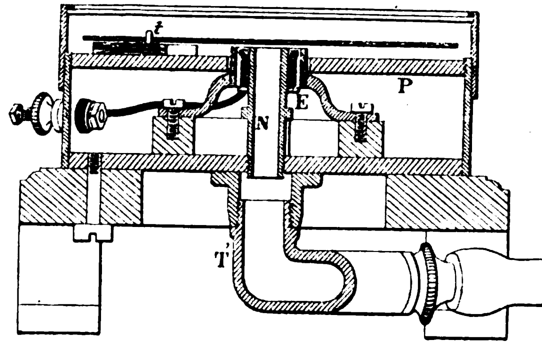


Fig. 2.

mier harmonique, circonférence dont le rayon est environ 0,68 de celui de la plaque. L'aimant N est creux, un tube T', qui lui est ajouté, recueille les ondes sonores produites par la plaque vibrante et les transmet aux oreilles par l'intermédiaire de tubes légers de caoutchouc. Le réglage de la hauteur du son se fait une fois pour toutes, les plaques sont vernies et enfermées dans une boîte vitrée; un dispositif spécial permet, pendant la marche de l'appareil, de régler la distance de la plaque à l'électro pour donner la valeur convenable à l'intensité.

4° Le circuit extincteur C*e* comprend, dans la bobine de ligne et d'extinction B*le*, aussi bien que dans le transformateur différentiel T*d* des parties identiques à celle du circuit de ligne: il est complété par une ligne artificielle L*e*, comportant des capacités réparties de 50 en 50 km, à raison de 0,006 microfarad par km. M. Vaschy a démontré que cette répartition discontinue ne différenciait pas trop la ligne artificielle d'une ligne naturelle. L'expérience montre d'ailleurs que, toutes les fois qu'on quitte le laboratoire pour passer à la pratique, les résultats sont améliorés.

Le mode actuel d'action de la ligne et du circuit d'extinction sur le circuit récepteur a été introduit par MM. Magunna et Porchon; M. Mercadier avait établi d'abord, entre les fils *fr* et *fe*, un relais télémicrophonique. L'ap-

pareil a beaucoup gagné en simplicité et en régularité de fonctionnement par l'introduction du transformateur différentiel. Ce transformateur est triplement différentiel, car, non seulement les fils *fe* et *fl* sont égaux et semblablement placés par rapport à *fr*, mais trois fils égaux ont été enroulés en un toron unique, ce qui évite toute erreur dans l'établissement des communications. Le réglage de ce transformateur a exigé d'assez longs tâtonnements jusqu'à ce qu'on ait pu arriver à obtenir une induction mutuelle des circuits sensiblement indépendante de la fréquence des vibrations.

Les circuits C*l* et C*e* portent en dérivation des capacités réglables K*l*, K*e*, qui permettent de neutraliser presque complètement les effets de la self-induction. Elles servent, en outre, à rendre identique au courant de ligne le courant d'extinction; le réglage de la ligne artificielle égalise les intensités; on cherche les valeurs des capacités qui, en égalisant les phases, rendent nulle l'action résultante sur le fil *fr*. Il est remarquable que ce réglage, fait pour une fréquence donnée, subsiste dans tout l'intervalle d'une octave occupé par les 12 diaposons.

M. Mercadier exécute, avec l'aide de MM. Magunna et Porchon, diverses expériences qui montrent le fonctionnement du système; à droite et à gauche de la salle sont disposés trois postes transmetteurs, séparés par une ligne artificielle (jouant le rôle de ligne réelle), de 100 ou 150 km. Les récepteurs afférents à ces postes sont disposés à droite et à gauche de la table centrale auprès de laquelle se tient M. Mercadier. Nous constatons successivement qu'on peut transmettre et recevoir, dans les deux sens, en faisant fonctionner simultanément les divers diapasons; pour cela, on a muni les disques vibrants de résonateurs cylindriques; en posant le doigt, à intervalles égaux, sur un résonateur, on éteint le son qu'il produit et on peut vérifier ainsi qu'il fonctionne. L'indépendance des sons rendus par les divers récepteurs et des formes de signaux reçus simultanément apparaît de la façon la plus nette.

Le système amené à ce point n'est pas encore parfait; le son rendu par les plaques vibrantes, dont M. Mercadier a exagéré beaucoup l'intensité dans ses démonstrations, est très faible dans les conditions pratiques, où on se sert du tuyau acoustique; il est insuffisant pour l'*appel*. Aussi place-t-on en dérivation un appareil Cailho (représenté sur la droite de la figure), qui permet d'envoyer le courant continu d'un appareil Morse. On pourrait, sur une ligne assez chargée pour que les 24 transmissions simultanées du système Mercadier deviennent insuffisantes, ajouter un appareil quelconque qui fonctionnerait indépendamment. L'expérience a été faite entre Paris et Bordeaux; les agents réceptionnaires, qui écoutaient les monotéléphones, ne se sont pas aperçus de l'adjonction d'un appareil à courant continu, dont on ne les avait pas prévenus.

La description donnée jusqu'ici s'applique au cas de deux postes communiquant uniquement entre eux; le télégraphe multiplex peut être aussi exploité par postes échelonnés.

On peut se proposer d'abord de faire communiquer un poste principal avec plusieurs postes secondaires; le poste principal possède alors 12 appareils transmetteurs et récepteurs, et chacun des postes secondaires en possède 1. On peut évidemment varier ce système en donnant plusieurs appareils à certains postes secondaires plus importants. Ce système fonctionnerait aussi bien sur une grande distance, de Paris à Melun, Sens, Dijon, Chalon, Mâcon, Lyon, Valence, Avignon et Marseille (avec quatre transmissions à Marseille), ou encore de Paris à Melun, Dijon, Mâcon, Valence, Avignon, avec trois transmissions à Lyon et quatre à Marseille, que, sur un circuit plus restreint, entre Paris et les principaux bureaux de la banlieue, par exemple, ou entre un chef-lieu de département et d'arrondissement et les bureaux des cantons voisins.

On peut aussi désirer que chacun des postes intermédiaires communique avec tous les autres. Avec 12 fréquences distinctes, on peut avoir cinq postes sur une même ligne. En effet, chaque poste aura à communiquer à quatres autres, ce qui donne vingt combinaisons, mais ce nombre comprend deux fois chaque couple de postes, il se réduit donc, en réalité, à 10. On pourra attribuer les deux autres aux deux postes les plus importants. Les postes secondaires auront chacun 4 appareils distincts; les postes principaux en auront 6, ce qui leur donnera entre eux trois communications dans chaque sens. Par exemple, on pourrait faire communi-

quer entre eux les postes de Paris, Tours, Poitiers, Angoulême, Bordeaux, avec trois communications dans chaque sens entre Paris et Bordeaux.

Le système permettrait à un train en détresse de communiquer directement avec une station déterminée au lieu d'être obligé de passer par les *stations intermédiaires*.

Les postes intermédiaires peuvent être établis de deux façons :

1° *En dérivation directe;* c'est ce qui aurait lieu, si, sur la figure, la ligne proprement dite, au lieu de se former par Cl et fl, continuait à partir des points d'attache de ces circuits.

2° *En dérivation par induction;* le circuit $Clfl$ serait mis en série sur le secondaire d'un transformateur dont le primaire serait en dérivation sur la ligne.

Les avantages du système Mercadier sont nombreux ; les appareils qu'il emploie sont très simples; les frais d'entretien à peu près nuls. Le seul réglage consiste à déplacer, chaque jour, sur la rondelle de platine des diapasons, le point où jaillissent les étincelles. La dépense de courant est de 2 ou 3 ampères au plus, fournis par deux accumulateurs, pour un poste à douze transmissions. Des piles couteraient beaucoup plus cher, il faudrait trois éléments Bloc, type G, par transmetteur, soit 36 pour le poste complet; ce nombre est encore bas, relativement à l'intensité d'exploitation que permet le système.

Le personnel doit seulement savoir se servir du manipulateur Morse et lire au son les signaux Morse; c'est ce qu'on fait couramment en Amérique et ce qu'on commence à faire en Angleterre, la lecture est d'ailleurs beaucoup plus facile avec le multiplex Mercadier qu'avec le *Sounder*. La lecture au son a l'inconvénient de ne pas laisser de trace de la dépêche, mais la pratique montre que les erreurs sont beaucoup moins fréquentes, l'opérateur ne se fiant plus à la bande pour les corriger.

Les systèmes automatiques exigent qu'on groupe les dépêches par longues séries, d'où perte de temps nécessaire à la composition, à la transmission, la traduction et le collationnement de toute la série. Dans le système Mercadier, si l'on est obligé de grouper les dépêches, on peut sans inconvénient en constituer des séries peu nombreuses.

Enfin et surtout, le rendement des lignes télégraphiques peut être accru dans des proportions considérables. En admettant, pour des opérateurs exercés au *Sounder*, une vitesse de transmission de 17 mots (de 5 lettres) par minute, nombre qu'une grande habitude et la facilité supérieure de lecture du système Mercadier permettrait de dépasser, on pourrait envoyer sur une ligne double 17×24 ou 408 mots, soit 204 mots par ligne simple. Tandis que les appareils actuels ont un rendement de :

Hugues duplex	50 mots.
Baudot quadruplex	84 —
Morse quadruplex.	68 —

Le Morse quadruplex a un rendement inférieur de $\frac{2}{3}$ à celui du télégraphe multiplex. Enfin, si on ajoute, au télégraphe Mercadier, un Burdot quadruplex, on atteint le total de 246 mots par minute.

C. R.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 10 février (Suite) (1)

Tubes de force d'un champ magnétique rendus visibles par les rayons cathodiques, par **H. Pellat**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 352-355.

Quelques auteurs, et en particulier M. Birkeland (2) et M. A. Broca (3), ont déjà indiqué que certains rayons cathodiques suivent la direction d'un champ magnétique intense. En poursuivant des études sur l'action d'un champ magnétique sur les tubes de Geissler, M. Pellat a retrouvé cette propriété avec des apparences qui constituent un phénomème extrêmement curieux.

Ce phénomène est le suivant :

Dans un champ magnétique intense, le faisceau cathodique qui s'échappe d'une cathode en forme de plateau dessine exactement le tube de

(1) Les communications de M. Branly et de M. de Broglie publiées dans le dernier numéro ont été classées par erreur dans la séance du 3 février; elles ont été faites à la séance du 10 février.

(2) *Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève*, 4e période, t. I, 1896, p. 497; *L'Écl. Élect.*, t. XI, p. 471, 29 mai 1897.

(3) *Journal de Physique*, 3e série, t. VII, 1898, p. 710; *L'Écl. Élect.*, t. XIV, p. 523, 19 mars 1898 et t. XV, p. 30, 2 avril 1898.

force magnétique ayant pour base la surface de la cathode, les rayons cathodiques partant uniformément de toute la surface du plateau [1].

M. Pellat a reconnu que cette loi ne s'applique pas à tous les rayons cathodiques :

« Je désignerai, dit-il, par *flux* A, les rayons cathodiques qui suivent la loi que je viens d'indiquer, pour les distinguer d'autres rayons cathodiques (*flux* B) différant du flux A, non seulement par la couleur, mais aussi par d'autres propriétés.

» Le flux A n'est soumis à aucune action électromagnétique tendant à le dévier perpendiculairement aux lignes de force, que le champ soit intense ou faible. Il s'échappe toujours de la cathode dans la direction du champ, que cette direction soit normale, oblique ou tangentielle à la surface.

» En dehors du champ magnétique, ou dans un champ faible (300 unités C. G. S., par exemple), le flux A s'échappe de la cathode dans toutes les directions, aussi bien du côté où se trouve l'anode que du côté opposé, et forme une sorte d'atmosphère autour de celle-ci.

» Il résulte de ces lois que la figure dessinée par le flux A dans un champ magnétique est absolument indépendante du sens de ce champ. Il n'en est pas de même pour les figures formées par le flux anodique et par le flux B.

» *La netteté du tube dessiné par le flux A dans sa partie latérale est indépendante de la pression du gaz*, dans les limites de pression où j'ai pu suivre le phénomène, c'est-à-dire depuis 4 mm de mercure jusqu'à 0,004 mm (tube de Crookes très résistant). La netteté de la surface latérale du tube dépend évidemment de l'intensité du champ. Pour un champ de 3000 unités C. G. S., ou pour un champ plus intense, la netteté des bords est telle qu'en regardant, même à la loupe, on n'aperçoit aucun flou. Pour un champ de 1000 unités, les bords du tube sont légèrement flous, mais le tube est encore dessiné avec une parfaite netteté. Dans un champ de 300 unités, on ne distingue plus rien de net [2].

M. A. de Gramont a fait l'analyse spectrale de la lumière violette due aux radiations A

---

[1] Le phénomène est totalement différent de celui que produisent les rayons anodiques, qui ont bien aussi une tendance à suivre les lignes de force du champ, mais qui, partant du bord du plateau formant l'anode, ne dessinent nullement un tube de force ayant pour base ce plateau.

[2] Voici quelques détails sur ces expériences, qui achèveront de faire comprendre l'aspect du phénomène dans les différentes conditions de position du tube, d'intensité du champ et de pression du gaz :

« L'ampoule dont je me suis servi était petite pour pouvoir être placée entre les pièces polaires d'un électro-aimant Weiss. Elle avait la forme d'un cylindre de 4 cm de longueur et 1,5 cm de diamètre. Les électrodes étaient en aluminium et avaient la forme de disques circulaires de 1 cm de diamètre ; elles étaient distantes de 2 cm. Le tube communiquait avec une pompe à mercure ou une trompe de Sprengel. Le gaz a toujours été l'air.

» Si la pression est d'environ 0,5 cm de mercure et le champ de 3 000 unités, le phénomène apparait dans toute sa beauté : le flux A forme un tube de force de couleur violette, généralement courbe, s'échappant, comme toujours, des deux faces de la cathode, et allant d'un bout à l'autre dans le tube de Geissler. Il est alors facile de constater que la position de l'anode est sans influence sur la direction du flux A : suivant la direction de la ligne des électrodes par rapport aux lignes de force, le tube de flux A peut couvrir en totalité ou en partie l'anode ou en partie l'anode ou ne pas tomber dessus. Celle-ci arrête les rayons cathodiques A qui tombent à sa surface, comme un écran opaque le fait pour un flux lumineux, sans influencer la marche des rayons qui rasent ses bords.

» Dans les conditions de pression que je viens d'indiquer, la lumière due au flux B ne gêne pas encore, car elle se réduit à une lueur rouge sur le pourtour de la cathode. Quant au flux anodique il est noyé dans le flux A aux environs de l'anode ; pour le voir nettement, il faut beaucoup incliner la ligne des électrodes sur la direction des lignes de force, afin qu'il sorte du tube des rayons A. C'est donc ce tube qu'on voit presque uniquement.

» Ainsi, ce sont les rayons cathodiques A qui produisent cette lumière violette bien connue qui entoure l'électrode négative des tubes de Geissler. Ce sont aussi ces mêmes radiations A qui excitent le plus fortement la fluorescence du verre dans les tubes de Crookes.

» Par suite de la présence du flux anodique et surtout du flux cathodique B, qui ne suivent pas des lois aussi simples que celles que je viens d'indiquer pour le flux A, l'aspect du tube de verre change beaucoup suivant la pression. Quand celle-ci est supérieure à 4 mm de mercure, le flux A forme autour de la cathode une atmosphère bleu violet si courte qu'on ne peut distinguer nettement la direction de ces rayons quand on produit le champ. Pour 4 mm, le tube de force est nettement dessiné, mais il s'arrête à quelques millimètres de la cathode (sa longueur dépend de l'intensité du champ ; il est plus long dans les champs plus intenses). A mesure que la pression diminue le tube de rayon A s'allonge ; pour une pression de 1,4 mm, il a 8 mm à 9 mm dans un champ de 3 500, et 5 mm à 6 mm dans un champ d'environ 2 500 ; pour 0,8 mm le tube atteint l'anode et pour 0,5 mm il atteint l'extrémité du tube de verre la plus éloignée. A partir de cette pression, le tube de rayons A

(0,5 mm environ); on n'y distingue que les raies de l'air sans aucune des raies qui caractérisent l'aluminium ou ses impuretés.

M. A. Cornu, à l'occasion de cette Communication, rappelle que l'étincelle non condensée, jaillissant dans l'air à la pression ordinaire entre deux électrodes d'un métal plus ou moins volatil au sein d'un champ magnétique intense, permet d'observer les surfaces équipotentielles sous forme d'une surface lumineuse provenant de l'étalement de l'auréole (*Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 185).

Nouveau procédé d'analgésie des dents par les courants de haute fréquence, par **L. R. Regnier** et **H. Didsbury**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 373-375.

En vue d'éviter les inconvénients graves auxquels donnent parfois lieu les procédés d'analgésie ordinaire, les auteurs ont essayé les courants de haute fréquence.

Pour l'extraction, il convient d'employer l'appareil d'Arsonval construit par Gaiffe comprenant une bobine de 30 cm d'étincelle avec interrupteur rotatif Contremoulin-Gaiffe et condensateur à pétrole. Ce dernier est relié à un résonateur Oudin dont la tige supérieure est unie par un conducteur souple à l'électrode fixée sur la mâchoire du patient. Cette électrode est constituée par un moulage en *stent*, revêtu à l'intérieur de poudre métallique et d'une mince feuille d'étain. Pour absorber la chaleur développée par le courant, cette dernière est enduite d'une couche de pâte d'amiante humide. Un galvanomètre intercalé dans la partie du circuit qui joint le résonateur à l'électrode indique pendant toute la durée de la séance l'intensité du courant qui passe dans le corps du patient. Cette intensité est, en général, de 150 à 200 milli-ampères pendant 3 à 5 minutes; dans certains cas, on doit la porter à 200-250 milli-ampères pendant 6 à 8 minutes.

continue à aller d'un bout à l'autre de l'ampoule ; mais à mesure que la pression diminue le tube A pâlit; en outre, la lumière rouge orangé, puis rose blanchâtre et enfin lilas du flux B ne reste plus cantonnée au voisinage de la cathode mais s'étend dans toute l'ampoule et masque, ou plutôt rend moins visible, la lumière du flux A. Pour 0,16 mm le verre commence à devenir fluorescent; pour 0,10 mm il est déjà très fluorescent. Quand on produit le champ, on commence à voir la fluorescence du verre aux deux bouts du tube formé par les rayons A. Cette fluorescence s'accroît de plus en plus, à mesure que la pression diminue. Pour 0,04 mm le verre a une magnifique fluorescence verte sur toute sa surface, qui disparaît presque totalement dès qu'on produit le champ (3 000), pour ne plus exister, mais avec une grande intensité, qu'aux extrémités du tube formé par le flux A. La netteté du contour de ces taches fluorescentes montre que le pourtour du tube de rayons A est aussi nettement délimité que pour les pressions plus élevées; mais l'illumination de l'air à l'intérieur du tube n'est plus produite avec assez d'intensité par les radiations A pour être discernée au milieu de la lumière plus intense produite par le flux B. Celle-ci est, du reste, déjà assez pâle pour n'être visible nettement qu'après avoir fait disparaître la fluorescence générale du verre par la production du champ. La lumière lilas qui existe encore dans les tubes de Crookes est ainsi due aux radiations B. L'aspect ne change plus beaucoup jusqu'à la pression de 0,004 mm, limite de mes expériences : à ce moment l'étincelle passait plus souvent à l'extérieur de l'ampoule qu'à son intérieur. »

Séance du 17 février.

Thermomètre électrique fondé sur la variation de force électromotrice d'une pile étalon, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 412-414.

Les couples thermo-électriques permettent d'observer les variations les plus rapides de la température de la région où est située l'une des soudures; mais cette rapidité des indications peut être un inconvénient dans les expériences où on ne veut connaître que la valeur moyenne d'une température variable. Dans ces cas, M. Meslin utilise, pour la détermination de cette valeur moyenne, les variations qu'éprouve la force électromotrice d'un élément de pile, par exemple l'élément Latimer Clark, dont le coefficient de variation thermique est assez considérable.

La variation de la force électromotrice est mesurée par la méthode d'opposition au moyen du dispositif de M. Bouty [1]. Une difficulté de

[1] Le circuit principal contient deux boîtes de résistances, un accumulateur A et une clef à deux contacts successifs qui permet de fermer d'abord ce circuit principal, puis le circuit dérivé où se trouve le galvanomètre, et, relié par de longs câbles, par un élément Latimer-Clark L placé au loin dans la région dont on veut connaître la température.

» Au moment où l'on veut faire cette détermination, on appuie sur la double clef et l'on ajuste les résistances pour que cette opération puisse se faire sans impulsion de galvanoscope; on obtient ainsi le rapport des deux

la mesure provient de la variation qu'éprouve la force électromotrice d'opposition par suite des changements de la température ambiante. Comme il est indiqué dans la note ci-dessous, M. Meslin en tient compte en la comparant à celle d'un élément étalonné. Il serait évidemment préférable d'avoir une force électromotrice d'opposition invariable avec la température. Une solution du problème est donnée par les recherches de M. Chandier (voir n° du 1er mars, p. 328) : on pourrait prendre des éléments Daniell D, dont les dissolutions sont convenablement diluées; mais cette simplification n'est qu'apparente, car il faut connaître avec une grande précision la valeur constante de l'élément D et, pour cela, le comparer avec un élément L′ soigneusement étalonné et étudié en fonction de la température. Une autre solution consiste à mettre en opposition deux éléments Latimer-Clark ayant une force électromotrice légèrement différente, mais même coefficient de température; mais on n'a alors qu'une très faible force électromotrice résultante et l'obtention de deux éléments Latimer-Clark remplissant la double condition précédente exige la confection d'un grand nombre d'éléments.

forces électromotrices de L et de A :

$$\frac{L}{A} = \frac{r}{R}.$$

» Comme la force électromotrice de l'accumulateur A est variable et change avec la température, l'état de charge de l'accumulateur, la densité de l'acide, etc., il est préférable de l'éliminer : on procède immédiatement à une autre mesure en remplaçant l'élément éloigné L par un élément L′ placé à côté de l'observateur; un thermomètre qui plonge dans son intérieur indique sa température et une étude préalable permet de connaître exactement sa force électromotrice; on a alors

$$\frac{L'}{A} = \frac{r'}{R} \text{ d'où } \frac{L}{L'} = \frac{r}{r'},$$

d'où l'on déduit L — L′ ou L et par conséquent la température à laquelle se trouve cet élément L.

» On peut donc ainsi, à un moment donné, consulter l'appareil et connaître la température de la région éloignée, ou difficilement accessible.

» On peut enfin disposer les résistances de façon que chaque ohm corresponde à une variation thermique donnée, par exemple un dixième de degré. Supposons que les deux éléments soient identiques et que le coefficient de température soit 0,0005, c'est-à-dire 5 p. 1 000 par degré.

$$\frac{L - L'}{L'} = \frac{r - r'}{r'} \text{ alors } \frac{L - L'}{L'} = \frac{5}{10000}$$

pour $r - r' = 10^{\omega}$,

d'où

$$r' = \frac{100\,000}{5} = 20\,000,$$

et, si A est voisin de 2 volts, on trouve pour R, 27 700ω environ; il suffira donc d'avoir des boites de résistances de 30 000ω au plus. »

Recherches sur les gaz ionisés, par **P. Langevin**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 416-417.

Dans cette note, l'auteur donne quelques indications théoriques au sujet des méthodes qui lui ont permis d'apporter de nouvelles confirmations expérimentales à la théorie de l'ionisation des gaz (1). Nous les reproduisons ci-dessous (2).

(1) Voir *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 156, 28 avril 1900.

(2) Des travaux importants, principalement ceux des physiciens de l'école du professeur J.-J. Thomson, ont montré que l'on représente très bien tous les faits relatifs à la conductibilité électrique acquise par les gaz sous l'action des radiations nouvelles, en admettant que la radiation produit dans le gaz des nombres égaux de centres chargés, les uns positivement, les autres négativement. Ces centres possèdent chacun une charge égale en valeur absolue à celle que transporte l'atome d'hydrogène dans l'électrolyse, et s'entourent par attraction électrostatique, si la pression du gaz est suffisante, d'un cortège de molécules électriquement neutres.

» Les agglomérations ainsi constituées, que l'on nomme des *ions*, se meuvent en tous sens comme les molécules du gaz, et leur déplacement d'ensemble est nul en l'absence d'un champ électrique, en réservant ce qui est dû à la diffusion. Si l'on crée un champ H, ce déplacement s'effectue avec une vitesse k_1 H dans le sens des lignes de force pour les ions positifs, et k_2 H en sens inverse pour les ions négatifs.

Les coefficients k_1 et k_2, auxquels nous donnerons le nom de *mobilités*, sont généralement différents.

» Si la pression ne descend pas au-dessous de quelques millimètres de mercure, le déplacement des ions sous l'action du champ se produit sans que leurs chocs contre les molécules du gaz créent de nouveaux centres chargés; mais les ions positifs et négatifs peuvent se recombiner au moment de leurs collisions.

» Il est naturel d'admettre avec J.-J. Thomson, pour cette recombinaison, une loi analogue à la loi d'action de masse de Guldberg et Waage : la quantité d'électricité recombinée par unité de volume et par unité de temps est proportionnelle au produit des densités en volume p et n des charges portées par les ions positifs et négatifs.

$$\frac{dn}{dt} = \frac{dp}{dt} = -\alpha pn,$$

Sur la transparence des liquides conducteurs pour les oscillations hertziennes, par **Charles Nordmann**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 417-420.

Dans cette note, l'auteur fait connaître les résultats qu'il a obtenus en poursuivant ses recherches, signalées antérieurement (1), sur la relation qui existe entre la transparence des liquides pour les ondes hertziennes et la résistance électrique de ces liquides. Les nouvelles expériences ont été faites au moyen d'un dispositif ne différant de celui qui a été décrit que par des modifications de détails ayant pour but de rendre la manifestation plus commode. Elles ont conduit à la même conclusion, c'est-à-dire que *les transparences pour les ondes varient dans le même sens que les résistances; elles croissent moins vite que celles-ci et plus vite que leurs racines carrées.*

L'auteur a étudié, en dernier lieu, des solutions de plus en plus étendues de chlorure de potassium; le tableau suivant indique en regard les conductibilités $\frac{1}{R}$ de ces liquides et les va-

---

α étant le *coefficient de recombinaison*. Je préciserai plus loin la signification de cette loi.

» II. Dans cette théorie, k_1, k_2 et α doivent être des constantes pour un gaz donné, dans des conditions données de température et de pression. Il en est de même du rapport

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1+k_2)}.$$

» Or, la méthode suivante m'a permis une mesure expérimentale directe et précise de ce rapport ε, et m'a fourni des valeurs effectivement constantes dans des conditions d'expérience très variées.

» Entre une lame métallique AB munie d'un anneau de garde et une lame parallèle CD en aluminium, on établit dans le gaz un champ H qui nécessite sur chacune des lames une densité superficielle

$$\sigma = \frac{H}{4\pi}.$$

» Les rayons de Rœntgen provenant d'une *seule décharge* d'une bobine dans un tube de Crookes traversent la lame CD et, en un temps très court, libèrent dans le gaz, par unité de surface des lames, des quantités d'électricité positive et négative égales à Q_0. Ces charges vont se mouvoir en sens inverses dans le champ, les ions d'un signe filtrant en quelque sorte au travers des ions de signes contraires. Une recombinaison partielle aura lieu, d'autant plus importante que le champ sera plus faible, c'est-à-dire que la durée de la filtration sera plus grande. La lame AB recueillera donc, par unité de surface, une quantité Q, inférieure à Q_0 et tendant vers cette valeur à mesure que le champ augmente.

» La théorie montre que, si Q_0 est assez faible pour que la présence des charges dans le gaz ne modifie pas sensiblement le champ H, la quantité recombinée *ne dépend pas de la répartition initiale de l'ionisation* entre les lames, et l'on a

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon Q_0}\log\left(1+\frac{\varepsilon Q_0}{\sigma}\right)$$

ε se déduira de la mesure des rapports $\frac{Q}{Q_0}$ et $\frac{\sigma}{Q_0}$. J'indiquerai ultérieurement comment j'ai pu réaliser cette méthode de mesure.

» III. En dehors de la confirmation résultant de la constance du rapport ε, j'ai pu en obtenir une autre en déduisant de la théorie des ions une signification importante de ce rapport.

» J'ai calculé dans ce but le nombre des collisions entre les ions positifs et négatifs : il est naturel d'admettre qu'elles sont dues exclusivement, en l'absence de poussières, à l'attraction des charges opposées. En effet, la distance moyenne des ions est toujours très grande par rapport à celle des molécules du gaz (au moins 10000 fois plus grande aux pressions ordinaires) et, s'ils ne s'attiraient pas, leurs collisions seraient plus de 10^9 fois moins nombreuses qu'elles ne sont réellement.

» Il en résulte aussi que deux ions de signes contraires, même très rapprochés par rapport à leur distance moyenne, se meuvent sous l'influence de leur attraction avec la même *mobilité* que dans le champ H. Si P et N sont les nombres d'ions positifs et négatifs par unité de volume, *e* la charge de chaque ion, on obtient facilement pour le nombre de collisions par unité de volume pendant le temps dt

$$4\pi(k_1+k_2)\,PN\,e\,dt.$$

» Si *chaque collision était suivie d'une recombinaison*, on aurait, pour la quantité recombinée,

$$4\pi(k_1+k_2)\,PNe^2\,dt = 4\pi(k_1+k_2)\,pn\,dt,$$

d'où

$$\frac{dp}{dt} = \frac{dn}{dt} = -4\pi(k_1+k_2)\,pn.$$

» Le rapport

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{4\pi(k_1+k_2)}$$

représente donc le *rapport du nombre des recombinaisons au nombre des collisions entre des ions de signes contraires*. Il doit, *si la théorie est exacte, rester toujours inférieur à l'unité et s'en rapprocher vraisemblablement d'autant plus que la mobilité des ions est plus faible*.

» L'expérience confirme ces prévisions.

» J'ai réalisé également une méthode nouvelle de détermination des mobilités k_1 et k_2 dans des limites de pression très étendues et pour différents gaz. La connaissance de ε permet d'en déduire la valeur absolue du coefficient α. »

(1) *Écl. Élect.* t. XXVIII, p. 456, 21 sept. 1901.

leurs E trouvées pour leurs transparences (E étant l'épaisseur maximum de liquide que peuvent traverser les ondes pour agir sur un radioconducteur.

	E. mm	$\frac{1}{R}$ [1].
Solution normale de K Cl (74,555 gr. par litre)	32	0,0982
Solution normale de K Cl étendue à 1/10. .	175	0,0119
Solution normale de K Cl étendue à 1/50. .	494	0,00239
Solution normale de K Cl étendue à 1/100. .	804	0,00122

Si l'on trace une courbe en portant les épaisseurs E en abscisses et les conductibilités $y = \frac{1}{R}$ en ordonnées, cette courbe se trouve comprise entre la courbe qui représente l'expression $x = e^{kz\sqrt{y}}$ que M. Poincaré a déduite des équations générales de la théorie électromagnétique de la lumière pour représenter l'intensité des ondes transmises par une couche d'épaisseur z et de conductibilité y et la couche représentant l'égalité $x = e^{kzy}$ obtenue par Maxwell.

Conductibilité des diélectriques liquides sous l'influence des rayons du radium et des rayons Roentgen, par **P. Curie**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 420-423.

Le liquide est contenu dans un vase métallique à parois minces que l'on peut porter à un potentiel défini en le reliant à un pôle d'une source dont l'autre pôle est relié au sol. Dans le liquide plongent deux tubes métalliques concentriques ; le tube extérieur est relié au sol, le tube intérieur est relié à un électromètre.

Dans les expériences faites avec les rayons Roentgen, ceux-ci sont dirigés sur le fond du vase et agissent sur le liquide à travers ce fond. Dans les expériences faites avec les rayons Becquerel, la substance radifère est disposée ou bien au-dessous du fond du vase, ou bien à la partie inférieure du plus petit tube plongeant qui est alors fermé par le bas. Avec ces deux espèces de rayons, on a observé une conductibilité du diélectrique, cette conductibilité étant du même ordre de grandeur.

Avec les liquides étudiés avec un produit radiant très actif, le courant est proportionnel à la tension quand celle-ci varie entre 0 et 450 volts, et cela même quand la distance des électrodes ne dépasse pas 6 mm [1]. On peut alors considérer la *conductivité* provoquée dans divers liquides par le rayonnement d'un sel de radium agissant dans les mêmes conditions. Les nombres du tableau suivant, multipliés par 10^{-14}, donnent la conductivité en mhos pour 1 cm³ :

Sulfure de carbone	20
Éther de pétrole	15
Amylène	14
Chlorure de carbone	8
Benzine	4
Air liquide.	1,3
Huile de vaseline	1,6

On a étudié sur l'amylène et sur l'éther de pétrole l'action des rayons aux températures de (+ 10°) et de (— 17°). La conductivité due au rayonnement devient plus faible de un dixième seulement de sa valeur quand on passe de 10° à — 17°.

[1] Les valeurs des conductibilités données dans ce Tableau sont celles qui résultent des déterminations de Kohlrausch faites à 18°, c'est-à-dire sensiblement à la même empérature que mes expériences.

[1] Quand on étudie avec le même dispositif la conductibilité de l'air ou d'un autre gaz sous l'action des rayons de Becquerel, on trouve que l'intensité du courant ne croit proportionnellement à la différence de potentiel entre les électrodes que quand cette différence de potentiel est faible (de quelques volts). Mais quand on augmente de plus en plus la différence de potentiel, l'intensité du courant n'augmente plus proportionnellement à celle-ci; l'effet d'une augmentation de tension va en diminuant, et pour des tensions élevées (100 volts), l'intensité du courant ne s'accroît plus que d'une très petite fraction de sa valeur quand on double la différence de potentiel.

On peut cependant supposer que les liquides et les gaz se comportent d'une façon analogue, mais que, pour les liquides, le courant reste proportionnel à la tension jusqu'à une limite bien plus élevée que pour les gaz; la loi de proportionnalité, dans la série précédente d'expériences, ne cesserait de se vérifier que pour des tensions supérieures à 450 volts.

On pouvait, par analogie avec ce qui a lieu pour les gaz, chercher à abaisser la limite de proportionnalité en employant un rayonnement beaucoup plus faible. L'expérience a vérifié cette prévision; le produit employé était cent cinquante fois moins actif que celui utilisé dans les premières expériences. Pour des tensions de 50, 100, 200, 400 volts, on a obtenu des courants qui peuvent être représentés par 109, 185, 255, 335. La proportionnalité ne se maintient plus, mais le courant varie encore fortement quand on double la différence de potentiel.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 15 Mars 1902. 9e Année. — N° 11.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATION DES OSCILLOGRAPHES A LA MÉTHODE DE RÉSONANCE

1. Un courant périodique quelconque peut toujours être représenté par une série de Fourier, telle que :

$$y = a_0 + A_1 \sin \omega t + A_2 \sin 2\omega t \dots + A_n \sin n\omega t + B_1 \cos \omega t + B_2 \cos 2\omega t \dots + B_n \cos n\omega t, \qquad (1)$$

ou encore, en écrivant :

$$a_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tg} \varphi_n = \frac{B_n}{A_n}.$$

$$y = a_0 + a_1 \sin (\omega t + \varphi) + a_2 \sin (2\omega t + \varphi_2) \dots + a_n \sin (n\omega t + \varphi_n) \qquad (2)$$

En résumé, le courant périodique est représenté par la somme d'une série de sinusoïdes, variables en nombre et en grandeur, qui sont des *harmoniques* de la fonction principale $a_1 \sin (\omega t + \varphi)$. Dans le cas des courants alternatifs, on prend comme fonction principale celle qui correspond à la période du courant essayé. Si T est la durée de cette période, la *fréquence* est $\frac{1}{T}$ et :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \qquad (3)$$

Les variations de plus longue période, par exemple, celles qui sont dues à l'irrégularité des moteurs à vapeur, sont ordinairement négligées, leur examen rentre dans l'étude mécanique de la machine.

Dans les courants alternatifs *symétriques*, le terme a_0 disparaît, il ne reste que les termes en sinus et cosinus.

Pour obtenir l'équation complète de la courbe, il faut connaître les coefficients a_1, a_2 ... a_n, qui ne sont autre chose que les *demi-amplitudes* des sinusoïdes composantes, l'*ordre n* et enfin la *phase* φ_n de chaque harmonique. Dans le cas de (1), il faut connaître les coefficients A_n et B_n de chaque harmonique et la phase est donnée par leur rapport.

Deux méthodes différentes peuvent être employées pour déterminer cette équation. Si l'on a relevé, par points ou à l'aide des instruments automatiques : ondogaphe, oscillographes ou rhéographe, la courbe du courant étudié en fonction du temps, on peut, à l'aide des procédés graphiques ordinaires, déterminer les constantes ci-dessus. Malheureusement les courbes ainsi obtenues n'ont jamais une finesse et une netteté suffisantes pour permettre cette analyse, à moins que les harmoniques cherchés soient relativement importants et d'ordre peu élevé. De plus, les courbes obtenues sont toujours faussées par les accidents *non périodiques*, que l'on ne peut éviter, et ces perturbations risquent d'apporter beaucoup de trouble dans l'analyse.

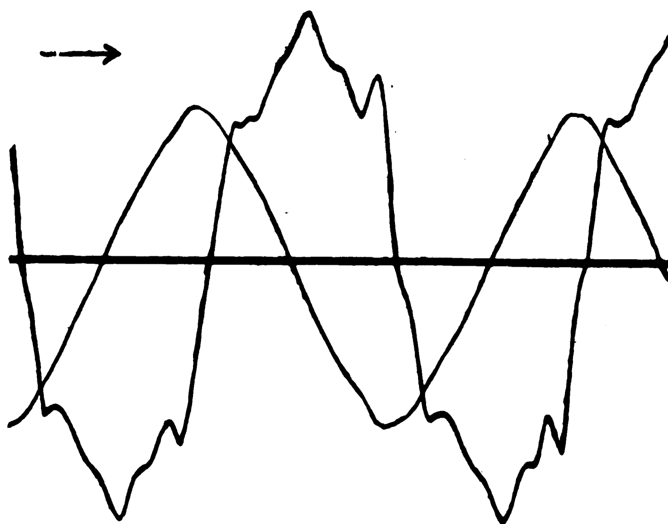


Fig. 1. — Courant inducteur et courant induit dans un transformateur.

La figure 1 met bien en évidence la difficulté d'obtenir sur une courbe l'indication de l'ordre et de la grandeur des harmoniques. Les deux courbes représentent le courant inducteur et le courant induit dans un petit transformateur à circuit magnétique ouvert. Le courant est fourni par la commutatrice dont la force électromotrice est représentée par la courbe dentelée des figures 5 à 9. La self-induction relativement considérable du primaire a fait disparaître les dentelures, de sorte que le courant inducteur présente la forme presque triangulaire que l'on voit ici. Néanmoins, les harmoniques que nous retrouverons plus loin existent encore et on les voit très amplifiés dans le courant induit ; cependant l'examen de la courbe du courant inducteur permet difficilement de prévoir leur existence.

L'analyse graphique étant insuffisante pour la détermination de l'équation des courbes, il faut employer des méthodes donnant *directement* n, a_n et φ_n; ce sont les *méthodes analytiques* proprement dites. En réalité, les méthodes analytiques ont été essayées en même temps que les premiers oscillographes et ce sont les progrès continuels de ces derniers qui les ont fait oublier ; mais, par un retour assez curieux, ces appareils facilitent singulièrement l'emploi des méthodes analytiques, de sorte que, s'il est nécessaire, on peut obtenir, à l'aide d'un même instrument : oscillographe ou rhéographe, la courbe elle-même, ou sa décomposition en harmoniques.

Parmi les méthodes analytiques proposées puis abandonnées, on peut citer celle de MM. Healing et Le Tall (1), dans laquelle le courant étudié traverse un électro placé devant un fil tendu. Quand la tension du fil est telle que sa période de vibration correspond à celle d'un des harmoniques, le fil se met à vibrer fortement, l'amplitude de ses vibrations

(1) *Journal of the Inst. of Elect. Eng.* t. XVIII, p. 284. *Lumière Électrique*, t. XXXII, p. 584, 1889.

indiquant, à peu près, l'amplitude de l'harmonique et l'ordre n étant déduit de la tension et des dimensions du fil. Cette méthode ne donne pas la phase.

MM. Lamb et Smith, à la même époque (1) et M. Blondel ensuite (2), obtiennent la valeur des harmoniques en envoyant le courant étudié dans le circuit fixe d'un électrodynamomètre, le circuit mobile recevant le courant fourni par un alternateur auxiliaire. Ce dernier, dont la vitesse peut être réglée à volonté, doit donner un courant sinusoïdal. Chaque fois que le courant auxiliaire i correspond à la fréquence d'un des harmoniques, on a :

$$i = C \sin n\omega t,$$

et la déviation passe par un maximum. Or, la déviation est proportionnelle à :

$$\frac{1}{T}\int_0^T yi = \frac{C}{T}\int_0^T y \sin n\omega t,$$

c'est-à-dire à l'un des cofficients cherchés, puisque les formules de Cauchy donnent :

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T y \sin n\omega t.$$

Un réglage préalable ayant permis de mettre i en phase avec les termes en sinus, il suffit de décaler l'alternateur de $\frac{\pi}{2}$, pour avoir ;

$$i' = C \cos n\omega t.$$

et, par suite :

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T y \cos n\omega t.$$

Sous cette forme, qui est celle de M. Blondel, la méthode est complète, puisque les trois facteurs cherchés sont déterminés ; malheureusement elle n'a pas été appliquée ainsi ; seuls, MM. Lamb et Smith ont fait quelques expériences, sans se préoccuper de la phase.

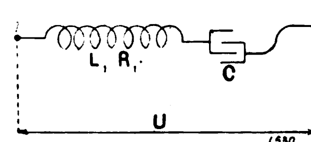


Fig. 2. — Schéma de la méthode de résonance.

2. Avec la méthode de résonance de M. Pupin (3), nous entrons dans une autre voie, les expériences sont plus faciles à réaliser et le calcul des résultats moins incertain.

Un circuit composé d'une bobine sans fer, ayant une résistance R et une self-induction L, en série avec un condensateur de capacité C, étant soumis en 1-2, figure 2, à une différence de potentiel U, de fréquence $\frac{n}{T}$;

$$U = a_n \sin (n\omega t + \varphi_n),$$

est traversée par un courant I_n :

$$I_n = \frac{a_n}{R\sqrt{1 + \left(\frac{n^2\omega^2CL - 1}{n\omega CR}\right)^2}} \sin (n\omega t + \psi_n - \varphi), \tag{4}$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{n^2\omega^2CL - 1}{n\omega CR}. \tag{5}$$

(1) *Industrie Électrique*, p. 375, 25 août 1893.

(2) *Lumière Électrique*, t. LIII, p. 288, 1894.

(3) *American Journal of Science*, mai 1893.

Cette intensité est maximum quand :

$$n^2\omega^2 CL = 1, \qquad (6)$$

elle est alors égale à :

$$I'_n = \frac{a_n}{R} \sin (n\omega t + \varphi_n). \qquad (7)$$

A ce moment il y a *résonance*, car, en effet, le circuit ci-dessus n'est pas autre chose qu'un *résonateur* dont la période d'oscillation propre, abstraction faite de l'amortissement, est :

$$T' = 2\pi\sqrt{CL};$$

or, il est facile de voir que T' est aussi la période $\frac{T}{n}$ du courant I_n, puisque, comme le montrent (3) et (6) :

$$\frac{T}{n} = \frac{2\pi}{n\omega} = 2\pi\sqrt{CL};$$

Dans les expériences de Pupin, un électromètre, placé en dérivation sur le condensateur C, sert à l'observation. Il se développe dans le circuit des forces électromotrices $L\frac{dI}{dt}$ et $\frac{1}{C}\int I dt$ qui sont précisément égales entre elles et maxima au moment de la résonance ; on tire de (7) :

$$e = L\frac{dI_n}{dt} = n\omega\frac{L}{R} a_n \cos (n\omega t + \varphi_n). \qquad (8)$$

Comme dans la circonstance on mesure un des harmoniques, c'est-à-dire un courant rigoureusement sinuosïdal, il est facile de déduire a_n de la force électromotrice *efficace* mesurée :

$$e_{eff.} = 0{,}707\, e_0,$$

et

$$a_n = \frac{e_0 R}{n\omega L}.$$

La méthode de Pupin exige l'emploi de bobines ou de capacités permettant la variation continue de CL. Chaque fois que la déviation de l'électromètre passe par un maximum, on se trouve en présence d'un harmonique dont l'ordre n est donné par le produit CL :

$$n = \frac{1}{\omega\sqrt{CL}}, \qquad (9)$$

et l'amplitude par l'équation (8). Cette méthode ne donne pas la phase.

Remplaçons maintenant l'électromètre par un oscillographe ou un rhéographe, immédiatement l'observation est simplifiée. Avant même d'être arrivé à la résonance, on voit se tracer sur l'écran la courbe de l'harmonique visé et, si l'on a eu soin de conserver la courbe y du courant étudié, il est facile de *compter* le nombre n des oscillations qui se produisent pendant une période de la courbe y. Une fois l'ordre n de l'harmonique le plus voisin connu, il est facile de calculer la valeur plus exacte de CL à employer, mais ce calcul n'est qu'approximatif.

Au moment où la courbe observée est maximum, la résonance est atteinte et si l'on connaît la résistance R du circuit de l'oscillographe et de la bobine de self-induction, si l'oscillographe lui-même est étalonné, la mesure de I'_n est facile et on a :

$$a_n = RI_0,$$

I_0 étant l'ordonnée maximum de l'intensité I'_n.

De plus, l'équation (5) montre que la différence de phase Ψ entre le courant I_n et la différence de potentiel U est nulle quand la résonance est atteinte, donc on peut, en se servant de la courbe y comme repère, déterminer la phase φ_n de chaque harmonique.

3. Entrons plus avant dans la question. Pour la mesure des *différences de potentiel* assez basses, jusqu'à 200 volts environ, on peut employer le schéma de la figure 3. L'oscillographe A, muni d'une résistance non inductive r, trace sur l'écran la courbe y du courant étudié. Le second oscillographe B est en série avec le condensateur C et une bobine de self-induction L; le produit CL peut varier par l'un ou l'autre des facteurs, ou par les deux, et *la variation doit être aussi continue que possible*. Un réglage préalable des deux oscillographes a permis de faire coïncider les axes et les origines des temps sur les courbes.

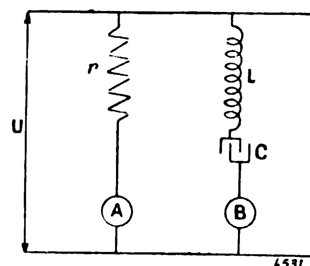


Fig. 3. — Mesure des faibles voltages.

Les choses étant ainsi disposées, on met d'abord le circuit CL en résonance avec la période principale, figure 5, et on détermine soigneusement son amplitude maximum et sa phase par rapport à la courbe témoin. Ensuite on diminue CL et l'observation de la courbe montre facilement les harmoniques qui existent dans le courant étudié; on les met en résonance et on mesure également leur phase et leur amplitude.

Diverses causes d'erreurs existent dont il faut tenir compte. Nous avons toujours calculé, jusqu'ici, le courant produit par l'harmonique visé seulement, mais l'équation (4) nous montre que le courant fourni par les autres harmoniques n'est jamais négligeable; il y a lieu d'en tenir compte dans certains cas.

Examinons, par exemple, ce qui se passe pour un harmonique d'ordre $n+p$, lorsque la résonance est établie par l'harmonique n; à ce moment nous avons :

$$C = \frac{1}{n^2\omega^2 L},$$

et cette valeur introduite dans l'équation (4) où n a été préalablement remplacée par $n+p$, nous donne :

$$I_{n+p} = \frac{a_{n+p}}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{n^2 - (n+p)^2}{n+p}\right)^2 \omega^2 \frac{L^2}{R^2}}} \sin\left[(n+p)\,\omega t + \varphi_{n+p} - \psi_{n+p}\right] \qquad (10)$$

C'est-à-dire que l'intensité donnée par l'harmonique $n+p$ est réduite, par rapport à la valeur qu'elle aurait à la résonance, dans le rapport indiqué par le radical. Par conséquent, en étudiant l'harmonique n, il faut tenir compte des harmoniques $n+p$ dont l'amplitude est assez grande pour donner une intensité appréciable, bien qu'ils ne soient pas en résonance. En pratique, c'est surtout la période fondamentale : $n+p=1$, qui apporte du trouble dans les harmoniques supérieurs.

La présence des courants dus à tous les harmoniques autres que n, ne change rien à l'amplitude ni à la phase de ce dernier; il en résulte seulement une légère courbure de l'axe du temps (fig. 6 et 7) ou une interférence qui donne lieu à des nœuds et à des ventres (fig. 9). Ces perturbations gênent fort peu ici, tandis qu'elles affectent notablement la valeur efficace du courant, telle qu'on la mesure dans la méthode de Pupin proprement dite.

Tous les harmoniques différents de n sont décalés sur leur phase réelle et on a :

$$\operatorname{tg} \psi_{n+p} = \frac{(n+p)^2 - n^2}{n} \omega \frac{L}{R} = \left(\frac{p^2}{n} + 2p\right) \omega \frac{L}{R}. \tag{11}$$

L'équation (10) montre que le courant I_{n+p} est d'autant plus atténué que la *constante de temps*, $\frac{L}{R}$, de la bobine est plus grande, on a donc intérêt *à faire cette constante aussi élevée que possible;* il en résulte que Ψ_{n+p} est toujours voisin de $\frac{\pi}{2}$, en avance quand p est positif, c'est-à-dire pour les harmoniques supérieurs à n, en retard pour les harmoniques inférieurs.

L'équation (8) montre que la force électromotrice d'induction est aussi proportionnelle à la constante du temps. Comme le condensateur est soumis à une différence de potentiel égale, il y a lieu d'éviter une trop grande valeur de $\frac{L}{R}$ pour les harmoniques où le produit na_n est élevé. Cette considération est déjà contradictoire à la condition précédente; nous trouverons plus loin une autre cause qui oblige aussi à limiter la constante de temps du circuit.

Voyons maintenant l'effet d'une petite erreur sur le réglage de la résonance; posons :

$$n^2\omega^2 CL - 1 = \varepsilon, \tag{12}$$

ε étant très petit devant 1. Cette valeur, introduite dans (4), donne, en remplaçant $1 + \varepsilon$ par 1 :

$$I''_n = \frac{a_n}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + n^2\omega^2 \frac{L^2}{R^2} \varepsilon^2}} \sin (n\omega t + \varphi_n - \psi'') \tag{13}$$

et

$$\operatorname{tg} \psi'' = n\omega \frac{L}{R} \varepsilon \tag{14}$$

Les équations (13) et 14 montrent qu'un très petit déréglage de la résonance affecte à la fois l'*amplitude* et la *phase* de l'harmonique et que, pour obtenir des résultats exacts, il faut pouvoir faire varier le produit CL d'une manière presque continue, en observant soigneusement le moment où l'amplitude maximum est atteinte. La meilleure solution est évidemment l'emploi de bobines à self-induction variable, dans le genre de celles de MM. Brillouin ou Ayrton et Perry.

Le déréglage ε peut aussi être dû à une variation de vitesse de l'alternateur; celle-ci produit une variation de la fréquence fondamentale et le facteur ω de l'équation (12) diffère de la valeur ω_0 qui donne la résonance; on obtient ainsi :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\varepsilon}{2}.$$

Le facteur ε est donc proportionnel à la variation relative de la vitesse angulaire, c'est-à-dire à l'*irrégularité* de l'alternateur étudié.

Avec les machines très irrégulières, cet effet est tel qu'il est impossible de photographier les courbes de résonance. Il faut observer directement l'amplitude maximum et la phase au même moment. Si, après réglage, on veut substituer la glace sensible à l'écran de l'oscillographe, on a très peu de chances de déclencher l'obturateur photographique au moment d'un maximum. On peut, il est vrai, placer un électromètre aux bornes du conden-

sateur et s'en servir pour observer le moment du maximum; mais, en outre de la complication, ce moyen a le défaut de n'être efficace que pour les irrégularités très longues, l'inertie de l'électromètre le rendant impropre aux indications rapides.

Il faut remarquer que la variation d'amplitude est d'autant plus grande que $\frac{L}{R}$ est aussi plus grand; on peut donc, le cas échéant, *réduire la constante de temps* à la valeur juste nécessaire pour rendre les harmoniques voisins sans influence. Les courbes 8 et 9 montrent bien ce défaut; elles ont été relevées sur une commutatrice dont l'irrégularité dépasse beaucoup 1 p. 100.

4. Pour les voltages élevés, il faut employer un autre dispositif; en effet, il est dangereux de soumettre un condensateur à une différence de potentiel de plusieurs centaines de volts et il ne faut pas oublier que le voltage qui agit sur le condensateur peut être beaucoup plus élevé que le voltage à mesurer. La solution la plus simple consiste à mettre le circuit résonateur en dérivation sur une fraction, r_2, d'une résistance sans induction, $r_1 + r_2$, qui reçoit le voltage total (fig. 4).

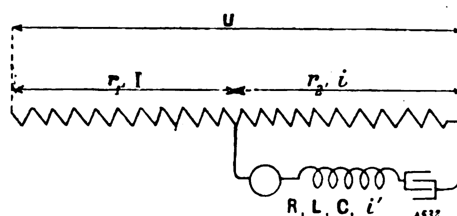


Fig. 4. — Mesure des voltages élevés.

Dans ces conditions, il est facile de voir qu'on a, au moment de la résonance :

$$Ri' = r_2 i, \qquad I = i + i',$$

et, finalement, le courant mesuré par l'oscillographe est :

$$i' = \frac{r_2}{r_1 r_2 + r_1 R + r_2 R} u_n;$$

u_n étant l'harmonique n de la différence de potentiel U.

Il faut calculer les résistances r_1 et r_2. de sorte que la différence de potentiel $i_2 r$ soit, au plus, égale à 100 volts

Il est bien entendu que les deux méthodes ci-dessus, § 3 et 4, mesurent des *différences de potentiel* U et que, pour en déduire la *force électromotrice* E de l'alternateur, il faut tenir compte de la résistance et de la self-induction du générateur. La correction à apporter à U, pour obtenir E, est naturellement variable avec l'ordre n de l'harmonique et si l'oscillographe exige un courant appréciable, certains harmoniques de la force électromotrice peuvent être presque complètement étouffés. Par conséquent, l'oscillographe employé donnera une valeur de E d'autant plus exacte que la résistance du circuit sera plus grande; c'est exactement le cas de tous les voltmètres.

5. Pour la mesure des intensités le procédé à employer est encore différent. On pourrait évidemment placer le circuit résonateur en dérivation sur une résistance sans self-induction et mesurer comme ci-dessus; mais il faut observer que l'on ne peut obtenir ainsi qu'une différence de potentiel très faible et, à moins que l'oscillographe employé soit très sensible, il faut que la résistance R du résonateur soit faible, ce qui conduit à L également très faible et exige pour C des valeurs très grandes et pratiquement inutilisables.

Une solution plus simple consiste à faire usage d'un petit transformateur *élévateur de tension*, sans fer, dans le circuit secondaire duquel on intercale l'oscillographe, le condensateur et, au besoin, une bobine de self-induction additionnelle. A la résonance, le courant secondaire I_n mesurée par l'oscillographe est *en phase* avec la force électromotrice induite par l'harmonique visé, c'est-à-dire en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur l'harmonique i_n lui-même et le

courant observé a pour valeur, en appelant M le coefficient d'induction mutuelle du transformateur :

$$I_n = \frac{Mn\omega i_n}{R} \sin\left(n\omega t + \varphi_n - \frac{\pi}{2}\right) \tag{16}$$

En calculant, comme ci-dessus, l'influence des harmoniques voisins on voit que l'intensité I_{n+p} est réduite à :

$$I_{n+p} = \frac{M(n+p)\omega i_{n+p}}{R} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{n^2 - (n+p)^2}{n+p}\right)^2 \omega^2 \frac{L^2}{R^2}}} \sin\left(n\omega t + \varphi_{n+p} - \frac{\pi}{2} - \Psi_{n+p}\right) \tag{17}$$

On voit que les harmoniques inférieurs, p négatif, ont une action perturbatrice moindre que dans le cas de la mesure des voltages. Au contraire, les harmoniques supérieurs sont beaucoup plus gênants. Ce double résultat est dû à ce que le courant donné par chaque harmonique est proportionnel au produit $(n+p)\, i_{n+p}$, tandis que dans la mesure des voltages il est seulement proportionnel à a_{n+p}.

La constante de temps joue ici le même rôle que précédemment pour l'étouffement des harmoniques voisins et on trouvera la même difficulté à l'augmenter à cause de la force électromotrice d'induction qui croît très vite :

$$e = Mn^2\omega^2 \frac{L}{R} I_n,$$

et, aussi, à cause des variations de vitesse qui causent la même variation d'amplitude et de phase des courbes, voir (13) et (14).

6. La facilité d'emploi de cette méthode repose en grande partie sur la bobine de self-induction dont on dispose. Il faut que cette self-induction varie d'une manière continue par l'éloignement ou le rapprochement de deux bobines, ou par leur variation d'angle. Il est nécessaire de posséder au moins deux bobines de self-induction : une de 1 à 2 henrys, l'autre de 0,1 à 0,2 henry pour obtenir la résonance avec des capacités pas trop grandes.

La constante de temps du circuit est le quotient de la somme des self-inductions, par la somme des résistances, il faut donc donner à la bobine additionnelle la plus grande constante de temps possible pour que la constante résultante soit élevée. Si on craint les effets nuisibles de $\frac{L}{R}$, on a toujours la ressource d'augmenter R, quand la sensibilité de l'oscillographe le permet.

On est assez vite limité dans l'augmentation de $\frac{L}{R}$. On sait, en effet, que la *constante de temps* varie, toutes choses égales d'ailleurs, et pour des bobines homologues, comme le carré des dimensions linéaires, c'est-à-dire comme la puissance $\frac{2}{3}$ du volume :

$$\frac{L}{R} : \frac{L'}{R'} = \left(\frac{V}{V'}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

La constante de temps varie avec la *forme* de la bobine, avec la *conductibilité* du fil et avec l'*épaisseur de l'isolant*. Dans les conditions les plus favorables, on obtient $\frac{L}{R} = 0{,}01$ seconde avec un volume de fil de 300 à 600 cm³ correspondant à un *poids* utile de fil de 2 à 3 kg.

Il ne doit y avoir, dans les bobines de self-induction employées, aucune autre dépense

d'énergie que l'effet Joule, RI^2, dans le circuit mesuré. C'est pour cette raison qu'il faut employer des bobines sans fer, n'ayant pas de spires en court-circuit et sans masses métalliques susceptibles d'être le siège de courants de Foucault.

On emploie quelquefois l'expression constante de temps en l'appliquant à des bobines à noyau de fer. Dans ce cas la valeur intéressante en courant alternatif dépend non seulement de $\frac{L}{R}$, mais encore de toutes les pertes d'énergie et on doit écrire :

$$tg\varphi = \omega \frac{L'}{R'}.$$

en donnant à φ sa valeur tirée du *facteur de puissance* :

$$\cos \varphi = \frac{P}{EI} = K,$$

$$\frac{L'}{R'} = \frac{1}{\omega} tg\varphi = \frac{1}{\omega} \frac{\sqrt{1 - K^2}}{K}.$$

Cette expression de la constante de temps nous donne la valeur de la résistance fictive R′ qu'il faudrait introduire dans les équations précédentes pour le calcul des amplitudes et des forces électromotrices. Il est facile de voir que cette formule contient le facteur K qui est variable avec la fréquence et presque toujours inconnu. Mais on voit aussi que $\frac{L'}{R'}$ est toujours plus petit que $\frac{L}{R}$, par conséquent les amplitudes, comme les forces électromotrices calculées sont plus grandes que les valeurs observées quand il y a du fer dans la bobine.

Pour la même raison le coefficient de self-induction L′, d'une bobine avec fer, mesuré en courant alternatif, est toujours plus petit que la valeur statique, parce que le calcul est basé sur la valeur vraie R, au lieu de la résistance fictive R′.

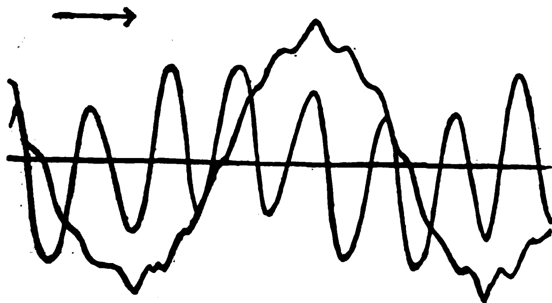


Fig. 6. — Harmonique cinq.

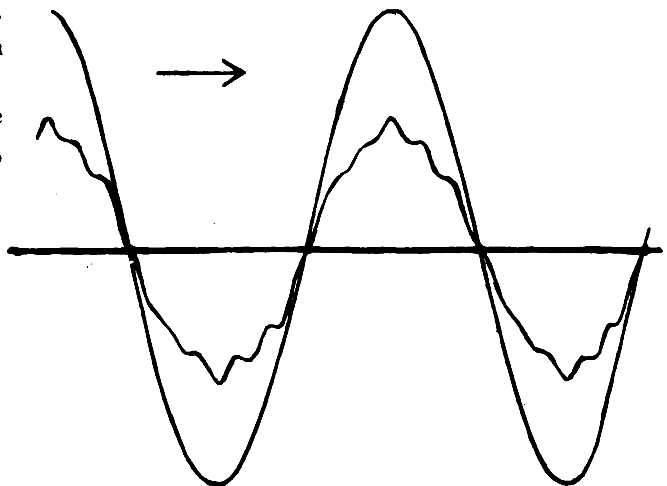


Fig. 5. — Période principale de résonance.

Les condensateurs employés peuvent être quelconques, pourvu que leur isolement ne soit pas trop mauvais. Le calcul de la capacité n'intervenant pas, puisque n est déterminé par le nombre d'oscillations observé dans une période, le réglage défectueux des capacités et les petits défauts tels que la variation de la capacité avec le temps de charge, ne gênent pas. La dépense d'énergie dans les condensateurs est toujours assez petite pour être négligée, au moins avec les oscillographes industriels qui exigent des courants assez intenses.

7. Comme exemple de décomposition d'une courbe de courant alternatif nous allons

***

prendre les figures 5 à 9, qui ont été relevées sur une commutatrice. Cette machine porte sur un seul induit, deux enroulements distincts, de façon à ce que le voltage secondaire en courant continu soit égal au voltage efficace primaire en alternatif.

Le rôle de la machine a été renversé. Le courant primaire est pris sur un réseau à

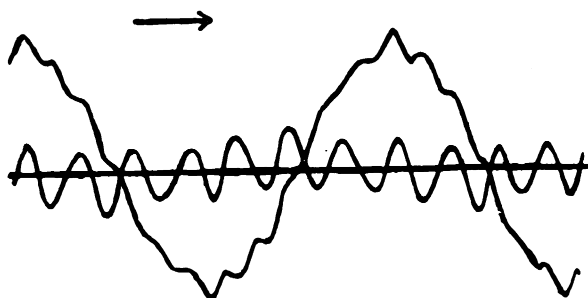


Fig. 7. — Harmonique sept.

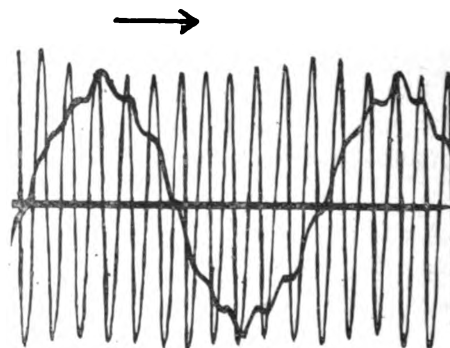


Fig. 8. — Harmonique onze.

courant continu dont le voltage oscille fréquemment et très brusquement, entre 115 et 120 volts !! Il en résulte naturellement une vitesse fort irrégulière de la commutatrice, ce qui rend presque impossible la photographie des courbes de résonance. On trouvera, dans le tableau de la page 383, les valeurs de a_n et φ_n, pour les harmoniques principaux, relevées sur les clichés et observées directement. Il y a une différence très notable entre ces valeurs pour $n = 7$ et 11 ; cela provient de ce que, malgré des essais répétés, il a été impossible de faire coïncider la photographie avec un moment de résonance parfaite.

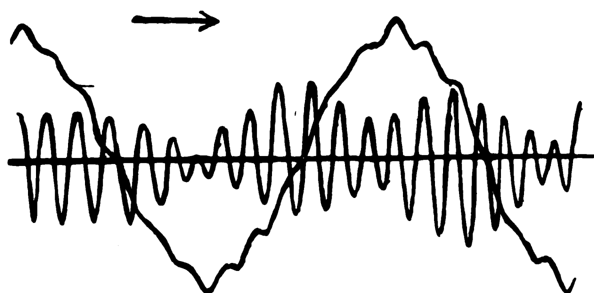


Fig. 9. — Harmonique treize interférant avec l'harmonique onze.

Les mesures ont été faites dans des conditions variées de self-induction, de capacité et de résistance. Les bobines de l'oscillographe ont été mises en série — sensibilité $S = 1$ — ou en dérivation. — sensibilité 0,5. — La colonne y_n indique, en millimètres, l'ordonnée maximum de l'harmonique observé et la colonne a_n renferme les valeurs relatives des demi-amplitudes :

$$a_n = \frac{R y_n}{S},$$

Comme on le voit, l'harmonique 5 est affecté par la période principale. En appliquant la formule (10), on voit que $n + p = 1$ donne encore une sinusoïde dont l'amplitude est environ le quart de celle qui correspond à $n = 5$; le calcul se vérifie bien sur le cliché. La courbure de l'axe des temps ne gêne pas pour la mesure de l'amplitude ; on peut, sans commettre d'erreur trop forte, prendre pour y_n la moyenne de trois maxima consécutifs, les deux extrêmes étant de signe opposé au moyen :

$$y_n = \frac{y' + 2y'' + y'''}{4}.$$

Pour la phase il faut la mesurer en partant d'un *maximum*, quand cette courbe part d'un axe curviligne, comme c'est le cas dans la figure 6. On choisit une période de l'harmonique aussi près que possible du maximum de la courbe perturbatrice et on prend la moyenne entre les deux passages au zéro de cette courbe. Il suffit de retrancher de la distance de ce point à l'origine de la courbe témoin le nombre de périodes entières qui y est contenu, moins un quart de période ; le reste donne la phase cherchée.

La même perturbation se retrouve dans la figure 7, où la période principale a encore une amplitude égale environ au quart de celle de l'harmonique 7.

Avec la courbe 11 (fig. 8), l'amplitude est suffisante pour que la période fondamentale ne gêne plus, mais les variations de vitesse sont considérablement grossies et on voit que l'amplitude de la courbe varie constamment.

Enfin, dans la courbe 13 (fig. 9), nous avons un curieux effet dû à l'interférence des harmoniques 11 et 13. Le premier n'est réduit qu'à 16 p. 100 de sa valeur, ce qui, grâce à sa grandeur, lui donne une amplitude du même ordre que celle de l'harmonique 13 qui est étudié. Il est évident qu'il faudrait une constante de temps énorme, mais alors les mesures deviendraient très difficiles, à cause des variations de vitesse, qui sont déjà très gênantes. L'amplitude indiquée dans le tableau, pour $n = 13$, est l'*amplitude moyenne*.

Valeurs relevées sur les clichés et observées directement.

n	L	C	R	γ_n	φ	S	a_n
			Valeurs relevées sur les clichés.				
1	2,006	9	204	32	0	1	6,500
5	0,240	3	13	10,5	avance $0,3\pi$	1	136
7	0,240	1,60	6,8	4,2	avance $3/4\pi$	0,5	57
11	0,240	0,63	13	20	retard $\frac{\pi}{2}$	1	260
13	0,106	0,90	18,1	5	0	1	90
			Valeurs observées directement (maxima).				
5	0,240	3	6,8	10	0	0,5	136
7	0,240	1,60	6,8	5,5	avance $3/4\pi$	0,5	75
11	0,101	1,45	11,9	15	retard π	0,5	357

Si grossiers que soient les résultats, dans le cas particulier que nous venons d'analyser, on voit que la différence de potentiel aux bornes de la commutatrice est représentée, en valeur relative, par une équation de la forme suivante.

$$U = 6\,500 \sin \omega t + 136 \sin 5\omega t + 75 \sin\left(7\omega t + \frac{3\pi}{4}\right) + 357 \sin (11\omega t - \pi) + 90 \sin 13\omega t.$$

Cette courbe renferme encore d'autres harmoniques plus élevés, le vingt-septième par exemple, mais leur amplitude est négligeable vis-à-vis de ceux ci-dessus.

8. La méthode de résonance n'a pas été souvent employée jusqu'ici, faute de moyens commodes pour l'appliquer et, aussi, parce qu'elle est peu connue. Il est cependant un certain nombre de questions dans lesquelles le simple examen des courbes, oscillographiques ou autres, ne peut pas donner des résultats complets.

Toutes les fois qu'on se trouve en présence d'un phénomène rigoureusement périodique, il est facile de déterminer l'équation de la courbe, par conséquent on peut voir l'influence des différents facteurs sur chaque harmonique et, souvent, obtenir une interprétation mathématique là où on est obligé de se servir de formules empiriques.

Parmi les questions de ce genre, l'une des plus importantes paraît être l'étude du rôle du fer dans tous les appareils électriques ; c'est même la question *type*, car, avec un courant bien régulier, on a des phénomènes rigoureusement périodiques et susceptibles d'une traduction mathématique. L'action des diélectriques pourrait être étudiée de même.

Dans les phénomènes à forme plus complexe, comme ceux de l'arc et de l'électrolyse, l'irrégularité des courbes, lorsqu'on les observe avec les oscillographes, est tout à fait décourageante ; cependant on voit, en pratiquant la méthode de résonance, que les irrégularités troublent peu les résultats et il serait intéressant d'entreprendre l'étude de ces phénomènes à ce point de vue. Les irrégularités paraissent porter exclusivement sur certains harmoniques. Ceci peut contribuer à déterminer leur nature.

9. L'*irrégularité* de la vitesse des alternateurs étant une des principales difficultés que l'on rencontre dans l'emploi de la méthode de résonance, il est naturel de chercher à se servir de la perturbation produite pour mesurer cette irrégularité.

Si, dans un oscillographe, nous supprimons le déplacement du spot en fonction du temps, nous aurons, au lieu de la courbe habituelle, un trait lumineux rectiligne, de longueur variable avec l'amplitude de la courbe observée. Si cette courbe est celle d'un harmonique élevé, la variation de longueur pourra indiquer les petites variations de vitesse de l'alternateur. Il suffira de recevoir cette ligne lumineuse sur un papier sensible, enroulé sur un manchon tournant synchroniquement avec l'arbre de l'alternateur, pour obtenir un tracé en forme de ruban de largeur variable, cette *largeur* étant fonction de vitesse angulaire réelle de la machine.

La figure 10 montre une application de ce genre faite sur la commutatrice étudiée ci-dessus. Les variations d'amplitude enregistrées correspondent à des variations de vitesse de 4 à 5 p. 100. L'harmonique en résonance est le onzième et sur le cliché on voit très nettement les courbes séparées, Le déplacement en fonction du temps a été produit à la main, à la vitesse d'environ 36 cm par seconde ; deux images successives se sont superposées.

Il est facile de calculer la relation entre l'*amplitude* des oscillations et l'*irrégularité* de l'alternateur. Nous avons trouvé précédemment.

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \frac{\varepsilon}{2},$$

Cette valeur, introduite dans (13), nous donne pour l'amplitude :

$$\alpha = 2\frac{a_n}{R}\frac{1}{\sqrt{1 + 4n^2\omega^2\frac{L^2}{R^2}\left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}\right)^2}},$$

tandis qu'à la résonance parfaite nous avons :

$$\alpha_0 = 2\frac{a_n}{R};$$

le rapport de ces valeurs donne :

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \sqrt{1 + 4n^2\omega^2\frac{L^2}{R^2}\left(\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}\right)^2}.$$

d'où on tire :

$$\frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = \pm \frac{R}{2n\omega L} \sqrt{\frac{\alpha_0^2 - \alpha^2}{\alpha^2}}$$

Pour cette application de la méthode, il suffit de régler la résonance pour le *maximum ou le minimum* de la vitesse, afin d'éviter que deux valeurs de l'irrégularité donnent la même amplitude ; α_0 est alors la *plus grande* amplitude de la courbe et, pour toutes les autres valeurs α, la formule permet de calculer l'irrégularité. Il faut prendre l'*amplitude* au lieu de la distance à l'axe, à cause des harmoniques voisins qui peuvent apporter de la dissymétrie dans la courbe, comme on le voit figure 10.

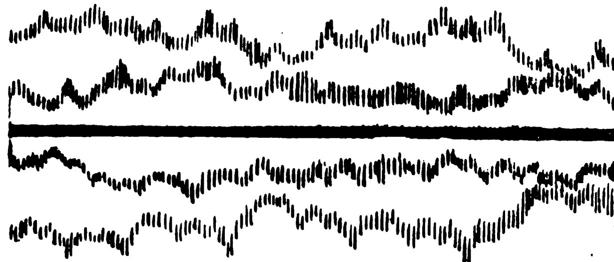


Fig. 10. — Effet des variations de vitesse.

Les courbes, tracées très rapidement, ne sont nettement visibles qu'à leurs sommets, ce qui suffit à indiquer les variations d'amplitude.

Le rapport $\frac{\alpha}{\alpha_0}$ croissant avec la constante de temps du circuit résonateur, il faut, pour déceler les petites irrégularités, augmenter considérablement les dimensions des bobines, à moins que le courant renferme des harmoniques élevés.

Comme exemple nous pouvons calculer la constante de temps qu'il faudrait employer, pour mesurer des variations de $\frac{1}{2}$ degré par tour, sur les alternateurs de la Rive Gauche, en nous servant de l'harmonique 15 de ce courant. L'irrégularité sera, au minimum de $\frac{1}{720}$; si nous voulons obtenir par ce moyen un rapport $\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{1}{2}$, il faudra prendre une bobine ayant $\frac{L}{R} = 0{,}158$ secondes, c'est-à-dire ayant un poids de cuivre de 125 à 190 kg !! Le cas échéant une pareille bobine pourrait être formée d'une grosse botte de câble, le réglage de la résonance se faisant en éloignant ou en supprimant quelques spires.

H. Armagnat.

QUELQUES REMARQUES

SUR LES

CONDITIONS DE FORMATION DES DÉCHARGES DISRUPTIVES

Dans un article publié précédemment (¹) je me proposais de démontrer que la différence de potentiel explosive dépend de la rapidité de variation du champ. A l'appui de cette assertion, je décrivais les expériences effectuées en reliant les pôles d'une machine électrostatique à des électrodes à la Wollaston plongées dans de l'eau légèrement acidulée. L'apparition de gaz oxygène et hydrogène aux deux pôles décèle l'existence, dans la décharge, d'oscillations très rapides du champ

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 393, mars 1901.

et le volume des gaz dégagés peut servir de mesure à l'intensité de ces oscillations. Les expériences de M. Viol, répétées par M. Negreano, ont mis en évidence, par une méthode d'observation presque directe, l'existence de ces oscillations. Ces physiciens ont déterminé la longueur d'onde des oscillations qui se propagent dans des fils tendus reliés aux pôles d'une machine statique. Ces mesures confirment que la présence du gaz tonnant sur les électrodes à la Wollaston atteste bien la production de pareilles oscillations; mais elles ont montré aussi que ces oscillations suivent des lois plus compliquées que je ne l'avais supposé dans l'article cité. Il y a donc lieu d'étudier ces phénomènes d'une manière plus approfondie.

Rappelons d'abord comment on peut calculer les longueurs d'onde des oscillations qui peuvent se produire dans un conducteur isolé, formé d'un fil rectiligne aux extrémités duquel sont attachées des capacités et dont l'un des points A est maintenu à un potentiel constant. Soient :

γ_1 la capacité à l'une des extrémités du fil, située à la distance l_1 du point A ;

γ_2 la capacité à l'autre extrémité, à la distance l_2 du point A ;

c la capacité du fil par unité de longueur ;

λ la longueur d'onde des oscillations ;

On a :

$$\operatorname{tg} 2\pi \frac{l_1}{\lambda} = \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_1}, \quad \operatorname{tg} 2\pi \frac{l_2}{\lambda} = \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_2},$$

Ces équations peuvent aussi s'écrire :

$$2\pi \frac{l_1}{\lambda} = m_1\pi + \operatorname{arc\,tg} \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_1}, \quad 2\pi \frac{l_2}{\lambda} = m_2\pi + \operatorname{arc\,tg} \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_2},$$

où m_1 et m_2 peuvent prendre toutes les valeurs entières 0, 1, 2..... Ajoutant membre à membre, il vient :

$$2\pi \frac{l}{\lambda} = m\pi + \operatorname{arc\,tg} \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_1} + \operatorname{arc\,tg} \frac{c\lambda}{2\pi\gamma_2},$$

où $l = l_1 + l_2$ est la longueur totale du fil, et $m = 0, 1, 2.....$

Le conducteur peut donc être le siège d'une infinité d'oscillations de longueur d'onde différente.

Nous nous bornerons à considérer les deux cas particuliers où ces oscillations forment une série harmonique.

Si les capacités aux deux bouts du fil sont égales toutes deux à 0 ($\gamma_1 = \gamma_2 = 0$) il vient :

$$\lambda = \frac{2l}{m+1},$$

formule analogue à celle des tuyaux sonores ouverts.

Si la capacité est nulle à l'un des bouts ($\gamma_1 = 0$) et infinie ($\gamma_2 = \infty$) à l'autre bout, c'est-à-dire si ce bout est relié au sol ou à un condensateur de très grande capacité, on a :

$$\lambda = \frac{4l}{2m+1}.$$

formule analogue à celle des tuyaux fermés.

M. Viol qui a étudié les oscillations dans un fil en observant les étincelles qui jaillissaient entre deux boules extrêmement petites n'a pu constater aucune influence d'un condensateur ou d'une bouteille de Leyde attachés à l'extrémité du fil. Ceci s'explique par ce qu'il ne mesurait pas la longueur des ondes, directement, mais seulement d'après le nombre des ondes qui se produisaient sur une longueur donnée du fil. Comme l'adjonction du condensateur provoque seulement une variation d'un quart d'onde, il est bien difficile d'apercevoir l'influence du condensateur quand il y a un grand nombre d'ondes. Ce qu'on peut observer, c'est le déplacement du nœud ou du ventre le plus voisin de l'extrémité du fil vers cette extrémité, quand on y adjoint une capacité.

M. Viol, se basant sur la concordance des oscillations acoustiques avec les oscillations électriques, a admis que celles-ci dépendaient des premières ; c'est assez peu probable, si on pense que les oscillations électriques ont une période environ 10^6 fois plus petite que la période des oscillations acoustiques. M. Viol a constaté que le nombre des ondes diminue quand la distance explosive augmente. L'électricité arrive au conducteur par l'exploseur comme l'air arrive au tuyau sonore par l'embouchure ou par l'anche ; mais, tandis que le tuyau donne les harmoniques supérieurs quand on force le vent, les harmoniques supérieurs électriques se produisent quand on diminue la distance explosive.

Revenons maintenant aux décharges obtenues avec les machines électrostatiques et comparons les résultats trouvés par M. Negreano avec les résultats des expériences antérieures. M. Negreano a relié l'un des pôles d'une machine Wimshurst avec un fil tendu en ligne droite et quelquefois les deux pôles avec deux fils tendus parallèlement : les ondes étaient marquées dans l'obscurité par des points ou des lignes lumineuses.

Cette méthode d'observation fournit des résultats d'accord avec ceux que donne l'emploi des électrodes à la Wollaston, comme on va le voir.

1° La différence de potentiel est plus élevée à l'explosion de la première étincelle qu'à l'explosion des suivantes. Cela s'explique par l'effet simultané de deux sources d'oscillations : la charge intermittente du conducteur par les pointes de la machine et la décharge disruptive. Or, la quantité de gaz dégagée sur les électrodes à la Wollaston est plus grande quand il se produit une décharge disruptive que si les deux pôles sont suffisamment écartés pour qu'il ne se produise pas d'étincelle ; cependant, dans ce dernier cas, la différence de potentiel est plus considérable. Il faut en conclure que les oscillations sont plus intenses à la première décharge qu'aux suivantes. Effectivement, M. Negreano a constaté qu'en supprimant l'étincelle, on n'observait que des points lumineux sur le fil attaché au pôle négatif, points qui se transformaient en lignes brillantes quand les étincelles éclataient. D'après les formules (22) et (23) de l'article cité, il faut en conclure que la différence de potentiel est plus grande lors de la première étincelle.

2° Si on augmente la distance explosive, la quantité des gaz dégagés sur les électrodes à la Wollaston augmente ; l'intensité des oscillations augmente donc avec la distance explosive. L'observation directe confirme cette conclusion, car les lignes lumineuses deviennent plus brillantes quand la distance explosive devient plus grande. En même temps on constate ce fait imprévu que la longueur d'onde des oscillations augmente en même temps que leur intensité. D'après les formules (22) et (23) l'augmentation de la différence de potentiel de décharge avec la distance explosive est parfaitement compatible avec l'augmentation de l'intensité du champ.

3° Les différences de potentiel explosives qu'on observe en mettant l'un des pôles au sol sont beaucoup plus régulières quand ce pôle est le pôle négatif. Il paraît évident que cette régularité tient à ce que les oscillations dont le pôle positif est le siège sont plus intenses que les oscillations se produisant dans le pôle négatif, et, dans ce dernier cas les variations du potentiel influent davantage sur les différences de potentiel mesurées. Ce fait serait bien difficile à vérifier avec les électrodes à la Wollaston, parce que les quantités de gaz dégagé dépendent surtout de la surface des électrodes ; mais les expériences de M. Negreano en ont fourni la preuve, car en employant deux fils de même longueur tendus parallèlement et reliés aux deux pôles de la machine, les autres extrémités étant libres, il a observé sur le fil négatif une série de points lumineux équidistants ; sur le fil positif se montraient une série de lignes lumineuses, dont les milieux correspondaient aux points lumineux du fil négatif : les oscillations étaient donc plus intenses sur le fil positif.

4° La différence de potentiel de décharge est indépendante de la capacité reliée à l'extrémité du fil. D'après les formules rappelées ci-dessus le nombre d'ondes dans lequel le fil est divisé est égal à $\frac{m+1}{2}$ ou à $\frac{m+\frac{1}{2}}{2}$ quand la capacité terminale varie de 0 à $+\infty$. Si le nombre des ondes contenu daus le fil est très grand, la capacité ne doit que modifier insensiblement le phéno-

mène. Les expériences faites avec les électrodes à la Wollaston montrent déjà suffisamment que les oscillations se produisent aussi dans le conducteur relié au sol [1].

La distance explosive aux bornes d'une bobine d'induction se représente par l'une des formules (22) ou (23) sans qu'on puisse décider laquelle des deux convient le mieux. Cependant la première :

$$\delta = KA_i \frac{\beta}{2\pi} (E_2 - a),$$

paraît susceptible de fournir une interprétation mécanique de la décharge [2]. E_2 désigne la différence de potentiel électrostatique; $E_2 - a$, la différence de potentiel vraie à la décharge, a représentant la variation de potentiel due aux oscillations. Le produit A_i $(E_2 - a)$ est égal à l'énergie électrique fournie par une seule oscillation; en multipliant cette expression par $\frac{\beta}{2\pi}$ on aura l'énergie totale de tous les chocs que reçoit le diélectrique dans l'intervalle explosif pendant l'unité de temps. C'est une expression analogue à celle que donne la théorie cinétique des gaz pour la pression.

L'équation ci-dessus représente donc l'équilibre entre la pression électrique exercée sur la paroi de diélectrique dont l'épaisseur est égale à la distance explosive et la résistance de cette paroi.

En général, tous les chocs portent sur le même point de la paroi; mais, si on souffle de l'air à travers l'intervalle explosif, la paroi est déplacée et les chocs portent sur des points différents, ce qui doit produire le même effet qu'une diminution du nombre des chocs dans l'unité de temps, en d'autres termes de la fréquence $\frac{\beta}{2\pi}$.

Mais, d'après la formule, cette diminution de $\frac{\beta}{2\pi}$ doit entraîner une augmentation de E_2; si la valeur de E_2 devient supérieure à la différence de potentiel réalisée, il faut que la décharge cesse. Ceci explique pourquoi on peut faire disparaître la décharge par le soufflage.

Toutefois la relation entre les propriétés des étincelles et la longueur d'onde des oscillations qu'elles provoquent est encore bien mal connue. Les expériences de M. Viol montrent que la distance explosive influe sur la longueur des ondes de manière à faire prédominer les ondes d'une certaine longueur, de même que le son d'un tuyau est modifié par la vitesse avec laquelle on fait arriver l'air au tuyau. Il est probable que le diamètre des boules de l'excitateur a aussi une influence. C'est ce qui paraît être, au moins d'après les phénomènes observés sur l'excitateur de Hertz, dont la marche serait réglée surtout par la distance explosive, d'après MM. Hagenbach et Zehnder. On pourrait modifier quelque peu le dispositif de M. Viol en remplaçant les capacités négligeables des extrémités du fil par des boules de diamètre convenable et en diminuant la longueur du fil; on peut s'attendre à ce que les oscillations fondamentales prévaudront sur les oscillations supérieures et que l'excitateur ainsi obtenu, étant complètement isolé, obéira à des lois assez simples.

L'excitateur de Hertz paraît présenter de graves complications, par suite de sa liaison avec la bobine d'induction ; il semble que cette liaison suffit à expliquer son amortissement énorme, l'énergie se dissipant plus librement dans les fils métalliques de la bobine que dans le diélectrique entourant l'excitateur. De plus, le courant de la bobine ne tardera pas à troubler les oscillations

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVI, p. 398

(2) Je dois rectifier ici une erreur que j'ai commise dans l'interprétation d'une expérience de M. Hemsalech et sur laquelle l'auteur a attiré mon attention.

L'introduction d'un noyau de fer doux ne fait pas disparaître la décharge, mais la rend continue.

En faisant le calcul qui m'a conduit à cette conséquence, que l'introduction du noyau fait disparaître la décharge, je supposais que la décharge dépend des oscillations fondamentales; or, les expériences de M. Viol et de M. Negreano contredisent cette hypothèse; aux oscillations fondamentales, il faudrait donc substituer les oscillations supérieures, dont la fréquence ne doit pas être influencée par le noyau.

excitées par l'étincelle, et, en général, les oscillations de l'excitateur Hertz sont soumises à diverses causes perturbatrices qui empêchent le cours régulier des oscillations.

Parmi les conclusions que Hertz a tirées de ses expériences, il en est une qui paraît incompatible avec les lois de l'induction mutuelle. Il a trouvé que la force électrique décroît dans le voisinage de l'excitateur comme l'inverse du cube de la distance, tandis qu'ailleurs elle décroît comme l'inverse de la distance. Cette dernière loi est d'accord avec l'opinion ancienne que l'induction mutuelle décroît comme l'inverse de la distance, mais la première ne l'est pas. Il y a lieu de supposer que cette loi du cube de la distance est une propriété caractéristique des phénomènes qui se passent dans l'excitateur de Hertz, mais ne constitue pas une loi générale comme on l'a admis. Il serait possible de résoudre cette question en employant un excitateur analogue à celui de M. Viol, dans lequel on supprimerait toutes les oscillations supérieures pour ne laisser subsister que l'oscillation fondamentale.

K.-R. Johnson,
Université de Stockholm.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Méthode de détermination rapide des harmoniques d'une oscillation complexe, par **M. Ascoli**. *Elettricista*, 1er juillet 1901.

L'oscillation étant représentée par la fonction

$$y = A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + \ldots + A_m \sin mx + \ldots \quad (1)$$
$$+ B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + \ldots + B_m \cos mx + \ldots$$

on multiplie les deux membres par $\sin mx$ et on intègre les deux produits.

On a

$$A_m \int_0^{2\pi} \sin^2 mx dx = \pi A_m.$$

Les autres intégrales du 2e membre sont nulles, comme on sait [1], et on obtient finalement

$$A_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \sin mx dx;$$

et de même

$$B_m = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \cos mx dx.$$

Cela étant, sur l'épure de la courbe supposée donnée en coordonnées cartésiennes, on divisera l'intervalle d'une période complète en un certain nombre de parties égales, 36 par exemple, et par les points de division de l'axe des abscisses, on mènera les ordonnées correspondantes y_1, y_2, ... Puis, par un point pris sur une feuille de papier quadrillée au millimètre, on mènera une série de rayons divisant le plan en autant d'angles égaux, ici 36 de 10° chacun. On choisira deux rayons perpendiculaires, dont l'un correspondra à l'origine des angles x. Les rayons correspondant aux angles de 10°, 20°, 30°, ... et aux ordonnées y_1, y_2, y_3, ... respectivement, seront numérotés 1, 2, 3 ..... Les projections sur le rayon origine et le rayon perpendiculaire de l'une quelconque des ordonnées y portée sur le rayon numéroté n, seront respectivement égales à $y \cos\left(n \times \frac{2\pi}{36}\right)$ et $y \sin\left(n \times \frac{2\pi}{36}\right)$, et on obtiendra très rapidement les sommes

$$\sum_{n=1}^{n=36} y \sin n \frac{2\pi}{36}$$

et

$$\sum_{n=1}^{n=36} y \cos n \frac{2\pi}{36}.$$

On prendra pour déterminer les coefficients A_1, B_1, les valeurs approchées (2) [1]

$$A'_1 = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{n=36} \left(y \sin \frac{2\pi n}{36}\right)\left(\frac{2\pi}{36}\right) = \frac{1}{18} \sum_{n=1}^{n=36} y \sin \frac{2\pi n}{36}$$

[1] *Lum. Élect.*, 12 octobre 1893. Analyse des courbes périodiques (P. Boucherot).

[1] Le procédé le plus simple serait évidemment de

****

$$B'_2 = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{n=36} \left(y \cos \frac{2\pi n}{36} \right) \left(\frac{2\pi}{36} \right) = \frac{1}{18} \sum_{n=1}^{n=36} y \cos \frac{2\pi n}{36}.$$

Pour mener rapidement les opérations, on dressera une table des produits $y \sin nx$, $y \cos nx$. Avec une ouverture de compas égale à y_1, on porte cette longueur sur les rayons 1, 2, 3, 4, 5, 6 successivement, en lisant chaque fois les deux projections sur le rayon origine et le rayon perpendiculaire, ce qui sera très facile avec le quadrillage en millimètres. Les nombres obtenus constituent la première ligne de la table. La deuxieme ligne sera obtenue par la lecture des projections de l'ordonnée y_2 portée sur les rayons 2, 4 ..... 12, la troisième ligne par les projections de y_3 portée sur les rayons 3, 6 ..... 18, etc. Ces lectures étant reportées sur la table avec leur signe, la somme algébrique des nombres de chaque colonne, multipliée par $\frac{1}{18}$ donnera la valeur approchée des 12 coefficients A et B auxquels on limite le développement avec des erreurs de quelques millièmes seulement.

P.-L. C.

Influence des harmoniques dans la composition des grandeurs alternatives de phases différentes, par **A. Della Riccia**. *Elettricista* du 1er décembre 1901.

Considérons deux différences de potentiel périodiques, de fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$, égales, mais d'ailleurs quelconques, décalées entre elles d'un angle correspondant à un temps t_0. Posons donc

$$e' = \sum_{m=1}^{m=\infty} (A_m \cos m\omega t + B_m \sin m\omega t)$$

$$e'' = \sum_{m=1}^{m=\infty} (A_m \cos m\omega (t - t_0) + B_m \sin m\omega (t - t_0))$$

mesurer les ordonnées $y_1 y_2 \dots$, et de calculer les valeurs sin 10°, sin 20°..., cos 10°, cos 20°..., etc. En effectuant les produits y_1 sin 10°, y_2 sin 20°..., en les additionnant et multipliant par $\frac{2}{36}$, on aurait la valeur approchée de A_1; la somme des produits y_1 sin 20°, y_2 sin 40°..., multipliée par $\frac{1}{18}$, donne la valeur approchée de A_2 et ainsi de suite.

On obtient aisément $e' \pm e''$ et les valeurs efficaces

$$(e')_{eff} = (e'')_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{m=1}^{m=\infty} (A^2_m + B^2_m)}$$

$$(e' \pm e'')_{eff} = + \sqrt{\sum_{m=1}^{m=\infty} (A^2_m + B^2_m)(1 \pm \cos m\omega t_0)}$$

d'où

$$\frac{(e' \pm e'')_{eff}}{e'_{eff}} = + \sqrt{\frac{2 \sum_{m=1}^{m=\infty} E^2_m (1 \pm \cos m\omega t_0)}{\sum_{m=1}^{m=\infty} E^2}}$$

avec

$$E^2_m = A^2_m + B^2_m$$

Ces rapports ne dépendent pas du décalage de phase $\theta_p - \theta_q$ entre deux composantes quelconques, mais seulement de l'amplitude de ces composantes et de l'angle $\theta_0 = \omega t_0$.

Supposons que les deux différences de potentiel agissent sur deux circuits possédant des constantes R, L, C égales, on obtiendra aisément pour les courants i' i''.

$$\frac{(i' \pm i'')_{eff}}{i'_{eff}} = + \sqrt{\frac{2 \sum_{m=1}^{m=\infty} I^2_m (1 \pm \cos m\omega t_0)}{\sum_{m=1}^{m=\infty} I^2_m}}$$

où

$$I_m = \frac{E_m}{\sqrt{R^2 + \left(m\omega L - \frac{1}{m\omega C} \right)^2}}$$

Ces rapports ne sont pas égaux à ceux qu'on vient d'obtenir pour les différences de potentiel, attendu que $\frac{I_m}{E_m}$ dépend de m.

Supposons que les deux différences de potentiel appartiennent à un système polyphasé équilibré, où alors $\omega t_0 = \frac{2\pi}{a}$, et les valeurs de $\cos m\omega t_0$ ou $1 \pm \cos m\omega t_0$ se reproduisent périodiquement ; appelons x la grandeur alternative considérée (courant ou différence de potentiel)

et X_m l'amplitude de sa composante d'ordre m.

Pour un système triphasé équilibré, on a

$$\omega t_0 = \pm \frac{2\pi}{3}$$

et les composantes se subdivisent en trois séries pour lesquelles

$$m = 3n + 1,\ 3n + 2,\ 3n + 3$$

respectivement, n variant de o à ∞ et

$$2(1 + \cos m\omega t_0) = 1,\ 1,\ 4,\ \text{ou}\ 1,\ 1,\ 1 + 3$$
$$2(1 - \cos m\omega t_0) = 3,\ 3,\ 0,\ \text{ou}\ 3,\ 3,\ 3 - 3$$

d'où il résulte

$$\frac{(x' + x'')_{eff}}{(x')_{eff}} = \sigma = \sqrt{1 + 3R}$$
$$\frac{(x' - x'')_{eff}}{x'_{eff}} = \delta = \sqrt{3 - 3R}$$

et

$$R = \frac{\sum_{n=1}^{m=\infty} X^2_{3n}}{\sum_{m=1}^{m=\infty} X^2_m}$$

On a donc à chaque instant

$$x' + x'' + x''' = 0$$

et

$$(x')_{eff} = (x'')_{eff} = (x''')_{eff}$$

et dans tous les cas

$$(x' + x'')_{eff} > (e''')_{eff}$$

et

$$(x' - x'')_{eff} < (e''')_{eff}\sqrt{3}$$

à moins que toutes les composantes ne soient toutes de la troisième série, pour laquelle $m = 3n$.

On obtient aisément les relations simples

$$\sigma^2 + \delta^2 = 4$$

et

$$3\sigma^2 - \delta^2 = 12\,R,$$

et dans le cas où $R = \frac{1}{3}$,

$$\sigma = \delta = \sqrt{2}.$$

Dans le cas d'un système équilibré à 4 phases on trouve de la même manière

$$\sigma' = \sqrt{2 - 2R} \qquad \delta' = \sqrt{2 + 2R}$$

d'où

$$\sigma^2 + \delta^2 = 4$$

et

$$\sigma^2 - \delta^2 = 4R.$$

Dans les circuits contenant des capacités élevées par rapport à la résistance et à l'inductance, les harmoniques supérieurs du courant peuvent atteindre une amplitude $m\omega CE_m$ notablement plus élevées que l'amplitude fondamentale ω CE. Ainsi dans l'exemple suivant, la différence de potentiel étant donnée par

$$e' = E_1 \cos \omega t \pm \frac{E_1}{9\sqrt{2}} \cos(9\omega t - \theta_9)$$

le courant est représenté par

$$i' = \omega CE_1 \cos \omega t \pm \frac{9\omega CE_1}{9\sqrt{2}} \cos(9\omega t - \theta_9 - \varphi_9)$$

Si le système où l'on a à composer deux grandeurs de cette nature est triphasé, on retombe sur le cas particulier mentionné ci-dessus $\left(R = \frac{1}{3}\right)$. La présence d'un harmonique d'ordre 9, et dont l'amplitude est seulement avec celle de la différence de potentiel fondamentale dans le rapport de 1 à $9\sqrt{2}\left(\frac{1}{12,7}\right)$, suffit pour que la composition de deux courants décalés de 120° se fasse suivant la loi de composition de deux courants en quadrature (comme cela résulte des égalités $\sigma = \delta = \sqrt{2}$). Ce qui montre bien combien il faut peu se fier aux coefficients numériques qui caractérisent la composition des grandeurs déphasées, quand ces grandeurs ne sont pas des harmoniques simples (sinusoïdes), et quand les circuits renferment des capacités.

P.-L. C.

Lieux géométriques dans les diagrammes des courants alternatifs, par **Schenkel**, à Dresde; *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 1043, 19 décembre 1901.

La résolution des problèmes concernant les courants alternatifs, est beaucoup simplifiée par l'emploi des règles suivantes concernant les vecteurs :

On prend une direction quelconque comme

point de départ des angles, et un sens de rotation donné ; alors :

1° Pour additionner ou retrancher deux vecteurs, on forme avec ces vecteurs portés dans le sens convenable, un parallélogramme et on prend la diagonale ;

2° Pour multiplier deux vecteurs, on porte une longueur égale au produit des vecteurs sur la direction obtenue en faisant avec la direction de base un angle égal à la somme des angles des vecteurs avec cette direction ;

3° Pour faire le quotient de deux vecteurs, on porte une longueur égale au quotient de leurs longueurs sur une direction faisant avec la direction de base un angle égal à la différence des angles des deux vecteurs avec cette direction.

Comme exemple, l'auteur traite le cas du transformateur survolteur (fig. 1) : deux bobines

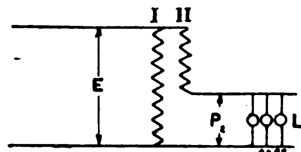


Fig. 1.

I et II sont enroulées sur le même noyau ; la bobine I est branchée sur le réseau, la bobine II est en série avec l'ensemble des lampes à alimenter ;

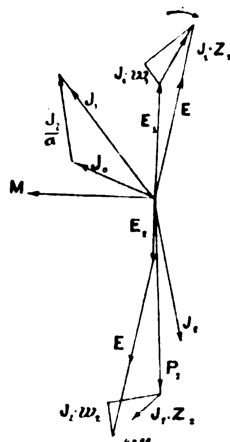


Fig. 2.

on obtient ainsi une certaine tension P_2 aux bornes des lampes : comment varie cette tension avec la tension du réseau et le courant secondaire ?

La figure 2 donne le diagramme de cet appareil, dans lequel les vecteurs sont les suivants :

M, champ résultant ;

J_0, courant à vide ;

$\frac{J_2}{\alpha}$, courant secondaire, dans son action sur la bobine I.

J_1, courant primaire ;

J_2, courant secondaire ;

E_1 et E_2, forces électromotrices primaire et secondaire ;

E, tension du réseau ;

P_2, tension d'utilisation (aux lampes) ;

Z_1 et Z_2, impédances primaire et secondaire ;

$Z_e = \frac{E_1}{J_0}$;

α, rapport du nombre des spires de I et II.

Supposons que la charge est non inductive.

Les équations symboliques suivantes (méthode Steinmetz) sont vérifiées :

$$E = E_1 + J_1 Z_1 \qquad \text{(bobine I)} \qquad (1)$$

$$E + E_2 = P_2 + J_2 Z_2 \qquad \text{(bobine II)} \qquad (2)$$

$$E_1 = \alpha E_2 \qquad (3)$$

$$J_1 = J_0 + \frac{J_2}{\alpha} \qquad (4)$$

$$J_2 = \frac{P_2}{R_2}. \qquad (5)$$

Etudions le rapport

$$\rho = \frac{P_2}{E},$$

ce rapport est égal à

$$\rho = \frac{R_2 \alpha [Z_e (1 + \alpha) + \alpha Z_1]}{R_2 \alpha^2 [Z_e + Z_1] + \alpha^2 Z_2 [Z_e + Z_1] + Z_e Z_1}.$$

ce que l'on peut écrire

$$\rho = \frac{R_2 U}{R_2 V + W}.$$

Z_e, Z, R_2, Z_2, sont des vecteurs. On peut donc construire géométriquement ρ d'après les règles données plus haut.

L'auteur étudie la généralisation de cette expression

$$\rho = \frac{a + bx}{c + dx} = \frac{r_1}{r_2},$$

où a, b, c et d sont des vecteurs donnés fixes, et x un vecteur variable en grandeur, mais fixe en position.

Dans ces conditions (fig. 3), si on construit r_1, on constate que (bx) a une direction constante, et une longueur proportionnelle à x ; par suite,

le lieu de l'extrémité de r_1 est une parallèle à (bx) ampères; de même pour r_2, dont l'extrémité a pour lieu la droite B. Si maintenant, on prend le quotient $\frac{r_1}{r_2}$ suivant la règle, on obtient un vecteur ρ faisant avec la direction de base un

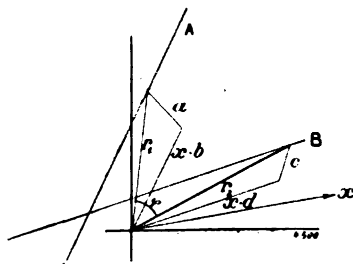


Fig. 3.

angle φ, égal à l'angle des vecteurs r_1 et r_2, et dont l'extrémité décrit un cercle (démonstration analytique facile).

Si G_1 et G_2 représentent deux quantités complexes, de rapport ρ, on voit que si G_2 est connu, pour obtenir G_1, il faudra porter une longueur proportionnelle à ρ sur une droite faisant avec G_2 l'angle φ, de sorte que G_1 et G_2 feront entre eux l'angle φ, d'où la règle générale :

Si le rapport de deux grandeurs électriques peut être mis sous la forme

$$\rho = \frac{a + bx}{c + dx},$$

dans laquelle a, b, c, d sont des vecteurs fixes, x un vecteur de position fixe et de grandeur

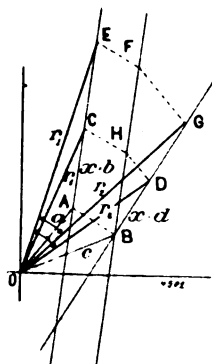


Fig. 4.

variable, lorsqu'une des deux grandeurs, par exemple le dénominateur, sera constante, l'autre décrira un cercle ; si a est nul, ce cercle passe à l'origine ; pour $c = 0$, il devient une droite ; enfin, pour $a = c = 0$, il se réduit à un point.

La figure 4 donne un exemple de construction de cette expression. ACF est le lieu des extrémités de r_1, BDG celui des extrémités de r_2. Menons FB ∥ AC, et CH ∥ AB. Une fois r_1 choisi, en oE par exemple, en menant EF et FG parallèles, respectivement à AB et à HD (droite résultant d'une première construction faite sur r_1 et r_2), on obtient immédiatement le r_2 correspondant.

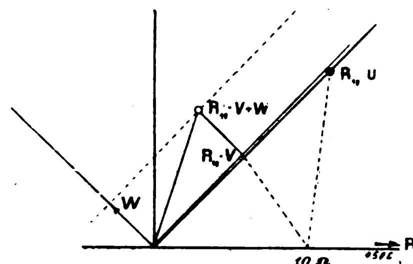


Fig. 5.

Pour terminer, l'auteur donne l'exemple d'un transformateur survolteur, dont les constantes sont :

$$\alpha = 1,$$
$$Z_1 = Z_2 = 2,7 \text{ ohms},$$
$$Z_c = 80,5 \text{ ohms}$$

Pour $R_2 = 10\ \Omega$, on trouve (fig. 5).

$$R_2\,U = 1630 \text{ ohms}^2,$$
$$R_2\,V = 830 \text{ ohms}^2,$$
$$W = 440 \text{ ohms}^2.$$

De même, pour

$R_2 = \infty$	$\rho = 1,96$
15 ohms	1,86
10 »	1,76
5 »	1,42.

Pour E constant, P_2 décrit un cercle passant à l'origine des coordonnées, pour P_2 constant, E décrit une droite. A. M.

Conjoncteur disjoncteur Fiévé. — *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils*, octobre 1901, p. 668-676.

L'appareil a été combiné de manière qu'une très faible différence, positive ou négative, entre la tension aux bornes d'une dynamo et la tension aux bornes d'une batterie d'accumulateurs disposée en parallèle établisse ou supprime les

connexions entre la dynamo et la batterie. Il comprend les pièces suivantes :

1° Une bobine creuse horizontale A (fig. 1

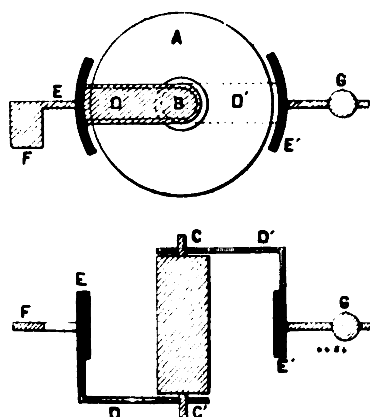


Fig. 1 et 2. — Noyau et armature mobile.

et 2), au centre de laquelle un noyau de fer doux B peut osciller entre deux pivots CC'. Ce noyau porte à chacune de ses extrémités un bras D,D' ; les deux bras sont dirigés en sens opposés ; l'un est en avant, l'autre en arrière de la bobine ; ils longent ses joues, se recourbent ensuite contre la surface extérieure de la bobine et se terminent par deux appendices polaires EE' cintrés en quart de cercle : noyau, bras et appendices constituent une armature en forme d'S embrassant la bobine. A l'un des appendices est fixée la pièce de conjonction F plongeant dans les godets à mercure ; à l'autre un contrepoids G. Ce système oscillant forme la partie conjonctive de l'appareil.

La bobine A porte deux enroulements. L'un, formé de quelques tours de gros fil, est en série sur le circuit de charge lorsque la conjonction est établie. L'autre est constitué par un fil de 6 à 8 dixièmes de millimètre pris en dérivation sur les augets, par conséquent en série sur le circuit principal, lorsque ce circuit est ouvert et en dérivation sur le gros fil lorsque la conjonction est faite ; l'auteur le nomme enroulement moyen.

2° Deux électro-aimants droits HH' (fig. 3) dont un des pôles est cintré en quart de cercle, chacun de ces pôles, magnétisés + et — embrassant la bobine circulaire, l'un au-dessus, l'autre au-dessous, ainsi que les appendices polaires de l'armature de cette bobine. Ces pôles exercent sur les appendices deux forces attractives et deux forces répulsives qui permettent de faire mouvoir la partie conjonctive. Les deux autres pôles *hh'* des électro-aimants sont utilisés pour une fonction auxiliaire dont il sera question plus loin.

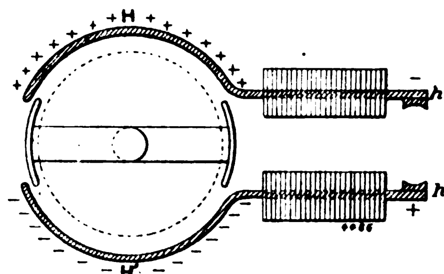


Fig. 3. — Electro-aimants fixes.

Les deux électro-aimants HH' sont enroulés d'un fil de 0,18 mm, relié aux bornes de la dynamo, ayant une résistance d'environ 3000 ohms et pouvant supporter d'une façon continue le courant produit par une tension de 170 à 180 volts.

3° D'une armature I (fig. 4), en forme d'anneau allongé, constituée par un tube de fer sur lequel se trouvent deux enroulements en fil fin en série avec l'enroulement des électro-aimants ; ces enroulements tendent à former deux pôles conséquents de noms contraires à ceux des pièces polaires *hh'*. Cette armature porte un levier K et une lame ressort L, en contact avec une pointe M ou isolée d'elle suivant la position de ladite armature.

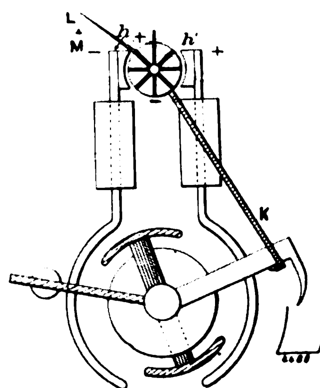


Fig. 4. — Dispositif auxiliaire.

La figure 5 indique les connexions des diverses parties de l'appareil à la batterie et à la dynamo. Tant que celle-ci n'est pas mise en

mouvement, la fourche F se trouve hors des godets, le contrepoids G étant réglé pour qu'il en soit ainsi. En outre l'armature I se trouve alors dans une position telle que son levier K enclenche la fourche et empêche celle-ci de retomber dans les godets, ce qui autrement pourrait arriver accidentellement, l'action du

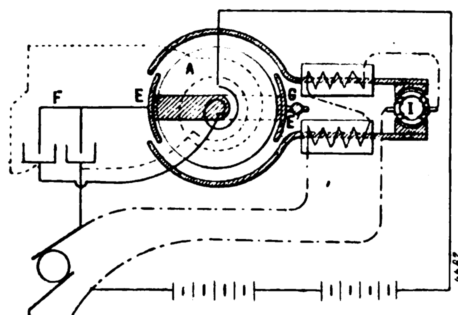


Fig. 5. — Schéma des connexions.

contrepoids étant très faible ; de plus la lame ressort L se trouve isolée de la pointe M, ce qui maintient coupé le circuit de l'enroulement moyen de la bobine A, une des extrémités de l'enroulement étant reliée à M, l'autre en L (pour ne pas compliquer la figure 5, n'a pas représenté cette disposition). Si maintenant on met la dynamo en marche, les enroulements des électro-aimants fixes et de l'armature I seront traversés par un courant et l'armature tournera ; ce déplacement aura pour effet de libérer l'enclenchement de la fourche et de fermer le circuit de l'enroulement moyen de la bobine A. Les appendices polaires EE' de cette dernière seront dès lors aimantés et subiront une attraction magnétique de la part des pièces polaires HH', attraction qui maintiendra sûrement la disjonction que le contrepoids G pourrait être incapable de maintenir comme nous l'avons dit. Mais à mesure que la force électromotrice de la dynamo augmente, le courant qui traverse l'enroulement moyen diminue et finit par changer de sens quand la différence de potentiel aux bornes de la dynamo devient égale à la différence de potentiel aux bornes de la batterie. A ce moment, l'action magnétique des pièces polaires HH' sur les appendices polaires EE' tendra à faire tomber la fourche dans les godets et par conséquent à effectuer la conjonction ; à cause de l'action opposée du contrepoids G, celle-ci ne se produira pas au moment précis où la tension aux bornes de la dynamo égale la tension aux bornes de la batterie ; mais comme l'action du contrepoids est très faible, il est facile d'obtenir la conjonction pour une différence de deux ou trois volts seulement entre ces dernières quantités. Dès que la conjonction est faite, l'enroulement moyen se trouve en court-circuit ; il n'est donc traversé par un courant que pendant un temps très court et il n'y a pas à craindre un échauffement exagéré. Quant à la disjonction, il est facile de voir qu'elle se produira dès que la tension aux bornes de la dynamo deviendra, en diminuant, juste égale à la tension aux bornes de la batterie, l'action du contrepoids ne donnant lieu à aucun retard dans ce cas.

L'inventeur revendique en faveur de cet appareil divers avantages, en particulier celui d'opérer la conjonction et la disjonction quelle que soit la tension aux bornes de la batterie. C'est là en effet une qualité que ne possèdent pas beaucoup de conjoncteurs-disjoncteurs qui doivent être réglés pour une valeur moyenne de cette tension [1]. J. R.

Relais de l'Elektrizitats Aktiengesellschaft, anciennement Schuckert et Cie pour l'indication des différences de charge des conducteurs, *Elektrotechnische Rundschau*, t. XIX, 15 novembre 1901, p. 38.

Le relais étudié par l'Elektrizitäts-Aktiengesellschaft, anciennement Schuckert et Cie, est destiné à indiquer la surcharge d'une des phases dans les installations polyphasées ou la rupture d'un des conducteurs.

Il se compose de deux noyaux de fer égaux a et b (fig. 1) dont les armatures c et d sont reliées mécaniquement par une tige l_1 l_2 mobile autour du point f. Les 2 noyaux sont aimantés par les enroulements g, h, i et k ; le nombre de tours de g et de h est N. Celui de i et de k est N_1. Dans le cas d'une distribution polyphasée, g est inséré dans un conducteur, h dans le se-

[1] Or cette valeur moyenne peut être très éloignée de la valeur vraie de la tension aux bornes de la batterie. Si en effet celle-ci est formée de 60 éléments, dont 20 de réduction, la tension atteindra $60 \times 2,5 = 150$ quand tous les éléments chargés seront en série, et elle descendra à $40 \times 1,7 = 68$ volts quand la batterie sera déchargée et les éléments de réduction mis hors circuit ; la valeur moyenne est alors 109 volts.

cond et les deux autres i et k dans le troisième.

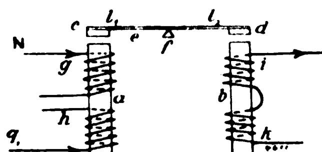


Fig. 1.

Le relais doit rester en repos quand les conducteurs n'ont pas de courant et quand ils sont traversés par des courants de même intensité; il doit au contraire entrer en action si une inégalité se produit en dehors de certaines limites. A cet effet, les enroulements g et h sont traversés en sens inverse par leurs courants respectifs et les nombres N_1 et N_2 sont dans un rapport déterminé.

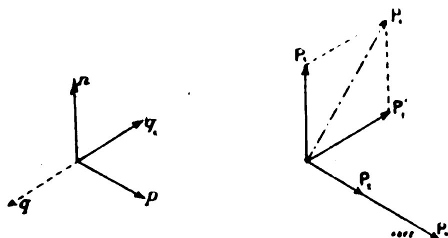


Fig. 2 et 3.

r, p, q, (fig. 2) sont les vecteurs représentant les trois courants, r traverse g, q renversé de 180° c'est-à-dire q_1 traverse h, et p traverse i et k. Une rotation d'ensemble de 90° donne (fig. 3) les directions des forces d'attraction magnétique excitées par les courants. Les rapports de fer et d'air sont les mêmes. La force P est représentée par l'expression

$$P = c n i \mu$$

ou comme $\mu = f(i, n)$

$$P = c n i f(i, n).$$

Les expressions pour g et k sont

$$P_1 = c\, n_1\, r\, f(r, n_1)$$
$$P'_1 = c\, n_1\, q\, f(q_1, n_1)$$

et pour i et k

$$P_2 = c\, n_2\, p\, f(p, n_2)$$

Les courants r, p et q pour des charges égales étant égaux, soit i la valeur maxima commune, on a

$$P = P'_1 = c_1\, n_1\, f(i, n_1)$$
$$P_2 = c_1\, n_2\, f(i, n_2).$$

P_1 et P'_1 agissent sur le noyau a avec une différence de phase de 60°, leur résultante est

$$P_3 = \sqrt{3}\, P_1.$$

dont le moment est

$$\sqrt{3}\, P_1\, l_1.$$

La force P_4 exercée sur le noyau b est $2\, P_2$ et le moment $2\, P_2\, l_2$.

On doit avoir

$$\sqrt{3}\, P_1\, l_1 = 2\, P_2\, l_2,$$

c'est-à-dire :

$$\sqrt{3}\, n_1\, f(i, n_1)\, l_1 = 2\, n_2\, f(i, n_2)\, l_2.$$

L'équilibre a donc lieu pour des nombres égaux de tours c'est-à-dire pour

$$n_1 = n_2$$

si

$$\sqrt{3}\, l_1 = 2\, l_2$$

et pour des bras de leviers égaux si

$$\sqrt{3}\, n_1\, f(i, n_1) = 2\, n_2\, f(i, n_2),$$

Pour les fortes saturations on a

$$f(i, n_1) = f(i, n_2)$$

et il suffit que

$$\sqrt{3}\, n_1 = 2\, n_2.$$

Si les charges des phases ne sont pas équilibrées, l'équilibre du système est rompu.

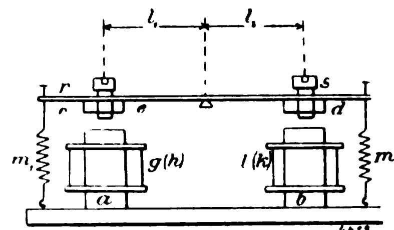


Fig. 4.

Le mouvement qui en résulte peut être facilement utilisé pour actionner un avertisseur ou un disjoncteur.

Dans les réseaux d'éclairage, des petites variations se produisent fréquemment sans pour cela troubler l'installation ; il faut dans ce cas régler la sensibilité entre de larges limites. A cet effet on augmente la distance de l'armature au noyau, ou l'on emploie des ressorts m_1 et m_2 (fig. 4).

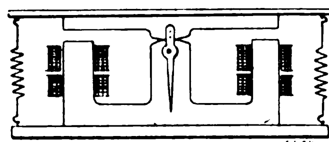


Fig. 5.

La figure 5 représente une disposition dans laquelle les noyaux induits sont accouplés magnétiquement ainsi que les armatures.

Dans le cas d'un système diphasé à 3 conducteurs, un des courants traverse la bobine g, l'autre inversé traverse h, le conducteur de retour traverse i et k.

On a

$$P_3 = \sqrt{2}\, P_1$$

et

$$P_4 = 2\, P_2$$

G. Goisot.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Electro-aimants industriels, par **Walter Benecke.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXII, p. 542, 4 juillet 1901.

On se propose de montrer qu'au point de vue de la force partante il y a avantage à choisir des pôles d'électro coniques et de varier l'angle d'ouverture suivant les matériaux employés.

On appellera :

Z' la force portante de l'aimant dans la direction des lignes des forces ;

Z la force portante suivant l'axe de symétrie ;

Z_1 la force portante normalement à l'axe ;

$\mathfrak{B}_\delta$ l'induction dans l'entrefer ;

$\mathfrak{B}_e$ l'induction dans le fer ;

x_δ les ampères-tours consommés dans l'entrefer ;

x_e les ampères-tours consommés dans le fer ;

δ' la course de l'aimant ;

δ la longueur de l'entrefer suivant les lignes de force ;

l la longueur du fer ;

r le rayon de l'électro ;

$\mathfrak{L}_\delta$ la section de l'entrefer ;

$\mathfrak{L}_e$ la section du fer ;

N le flux total ;

α la demi-ouverture du cône.

La force portante d'un électro est

$$Z' = \frac{\mathfrak{B}_\delta \mathfrak{L}_\delta}{8\pi} \text{ dynes} = \frac{\mathfrak{B}_\delta^2 \mathfrak{L}_\delta}{2{,}46 \times 10}\ 6 \text{ kg}. \qquad (1)$$

Dans le cas d'une faible course on peut admettre, comme le montre la figure 1, que les

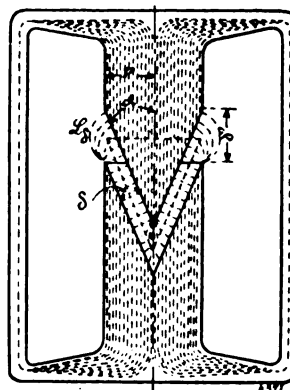


Fig. 1.

lignes de force traversent l'air normalement aux surfaces polaires ; on négligera les quelques lignes qui passent au sommet et sur les bords pour supposer que tout le flux s'écoule à travers la section d'air $\mathfrak{L}_\delta$. Des égalités :

$$\mathfrak{B}_\delta = \frac{N}{\mathfrak{L}_\delta} = \frac{N \sin \alpha}{\mathfrak{L}_e},$$

on déduit

$$\mathfrak{B}_\delta = \mathfrak{B}_e \sin \alpha \qquad (2)$$

D'ailleurs :

$$\mathfrak{B}_\delta = \frac{\frac{4\pi}{10} x_\delta}{\delta} = \frac{x_\delta}{0{,}8\ \delta' \sin \alpha} \qquad (2')$$

et comme $\mathfrak{L}_\delta = \frac{\pi r^2}{\sin \alpha}$ on peut écrire la formule (1) sous la forme

$$Z' = \frac{x_\delta^2 \pi r^2}{\sin^3 \alpha \delta'^2\ 0{,}64 \times 24{,}6 . 10^6} = 0{,}2 \frac{r^2 x_\delta^2}{\sin^3 \alpha \delta'^2}\ 10^{-6}. \qquad (3)$$

La force portante utile suivant l'axe de symétrie est

$$Z = 0{,}2 \frac{r^2 x_\delta^2}{\sin^2 \alpha \delta'^2}\ 10^{-6}. \qquad (4)$$

Si donc x_δ était constant, Z croîtrait indéfiniment pour une ouverture nulle. Mais outre qu'en réalité x_δ tend lui-même vers zéro pour α nul, il n'y aurait pas intérêt à construire des cônes trop déliés. La composante normale $Z_2 = Z' \cos \alpha$ atteindrait de très grandes valeurs d'où frottements inadmissibles. Un cas pratique au contraire est celui où la somme $x_e + x_\delta$ est constante = K.

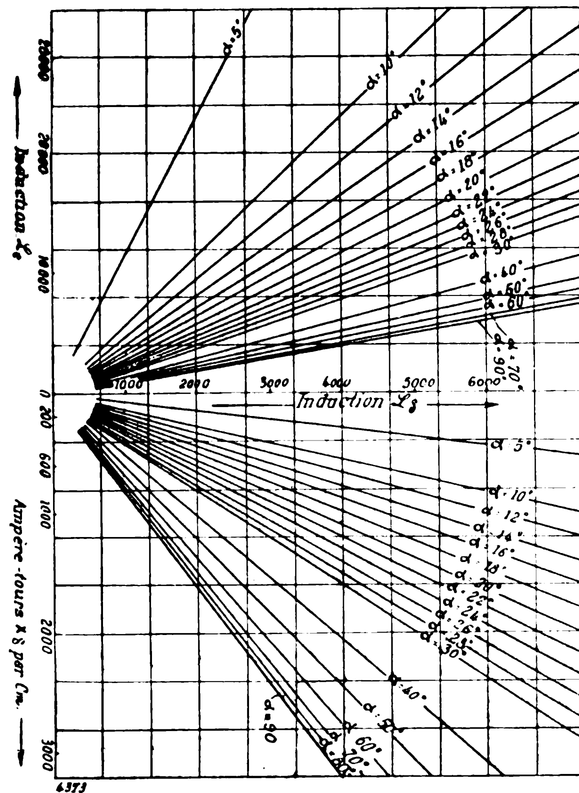


Fig. 2.

Pour déterminer la force portante on choisira *à priori* une valeur de x_δ qu'on portera dans la formule (2'), d'où $\mathcal{B}_\delta$; de (2) on déduit $\mathcal{B}_e$; d'où, en connaissant la courbe de magnétisme du fer employé, x_e, et on devra vérifier que $x_e + x_\delta =$ K. Par tâtonnements successifs on trouvera ainsi la bonne valeur de x_δ qu'on portera dans (4), d'où Z.

Il sera plus commode d'employer les diagrammes de la figure 2 qui sont la représentation graphique des équations (2) et (2'); ayant ainsi $\mathcal{B}_e$ graphiquement, on continuera comme ci-dessus. C'est ce qui a été fait pour les courbes de la figure 3 qui représentent la force portante de deux échantillons de fonte et d'acier pour une somme de $x_e + x_\delta = 7000$.

Ces courbes montrent qu'il y a un maximum de la force portante pour une demi-ouverture de 20° dans le cas de l'acier, et de 28° dans le cas de la fonte. On voit aussi que, s'il y a grand avantage à faire des électros en acier aux environs du maximum, il n'y a pas lieu de les préférer à ceux en fonte quand les pièces polaires sont planes. La courbe ponctuée de la figure 3 est une courbe expérimentale obtenue par un électro

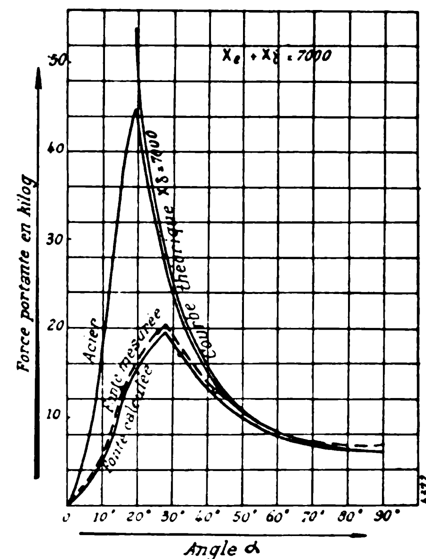


Fig. 3.

à cônes mobiles en fonte; la vérification, on le voit, a bien réussi; les valeurs un peu supérieures qu'on a trouvées s'expliquent parce qu'on a négligé le flux sur les bords dans le calcul.

On peut remarquer enfin que la forme conique devra être préférée à toute autre forme de révolution; les lignes de forces suivant un parallèle sont normales au cône circonscrit qui ne sera pas en général le cône du maximum.

C. Battegay.

Monte-charge électrique de la glacerie de Saint-Gobain. Extrait d'une communication faite par M. Bonnet à la Société de l'Industrie minérale et reproduite dans la *Revue industrielle* du 16 novembre 1901, p. 453.

Ce monte-charge, installé par les anciens établissements Luc Court et C°, doit desservir trois étages; le mouvement en charge étant toujours ascensionnel et la charge étant toujours la même,

on a pu prendre un contre-poids équilibrant la moitié de celle-ci, de sorte que l'appareil travaille dans les mêmes conditions dans les deux sens, montée et descente.

L'appareil se compose (fig. 1 à 3) d'une charpente métallique dont les montants servent de

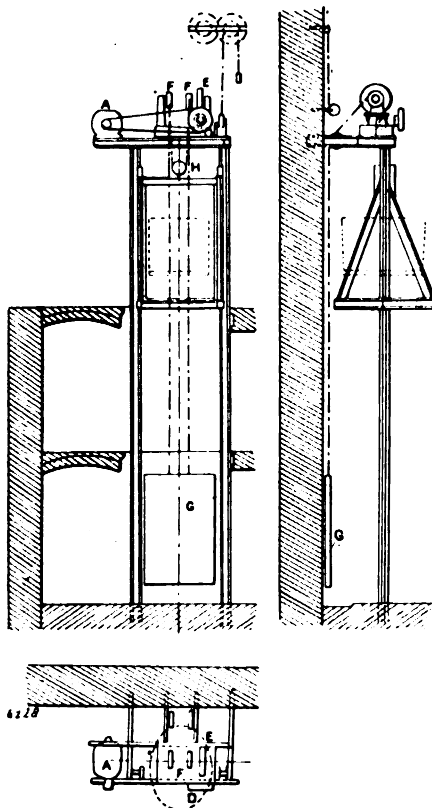


Fig. 1 à 3.

guides à la cage et dont la partie supérieure porte le moteur et les organes mécaniques.

Le moteur, qui peut marcher dans les deux sens, commande par courroie un arbre fileté D engrenant avec une roue E; la vis et la roue tournent dans un bain d'huile. Sur l'arbre de la roue sont calées deux noix F entraînant les deux brins d'une chaîne calibrée. Les extrémités de celle-ci sont attachées au contre poids G, tandis que la partie médiane passe sous la poulie de suspension H de la cage. Le dispositif est complété par un commutateur manœuvré à la main, mais à distance, pour le démarrage, automatiquement pour l'arrêt, et par deux freins, l'un mécanique, l'autre électrique, fonctionnant par la commande du commutateur.

Sur l'axe du levier du commutateur *a* (fig. 4) est calée une roue dentée *p* engrenant avec une roue r' montée elle-même sur le même arbre qu'une roue à chaîne de Galle r_1. La chaîne porte à une extrémité une barre de commande *t* qui descend tout le long du monte-charge et à l'autre un contre poids *l*. En faisant monter ou descendre cette barre, on fait donc tourner le commutateur dans un sens ou dans l'autre; pour le mouvement automatique de celui-ci, la barre présente aux points voulus des taquets que la cage rencontre un peu avant la fin de la course, ce qui déplace la tringle; fixes dans le sens de la hauteur ces taquets peuvent s'effacer par rotation autour de la tringle suivant les étages à desservir.

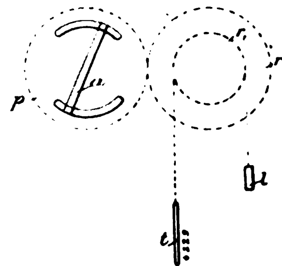


Fig. 4.

La manœuvre du commutateur serre ou desserre du même coup le frein mécanique. Celui-ci est constitué par une poulie *p* (fig. 5), montée sur l'arbre de la vis sans fin et par un ressort, muni de frotteurs, qui l'entoure et dont les deux extrémités sont reliées à deux leviers en ciseaux portant des galets *mm*. Le serrage est obtenu par l'écartement des galets entre lesquels un levier CH enfonce, sous l'action du contre-poids C, le coin H. Ce coin est retiré au moment de

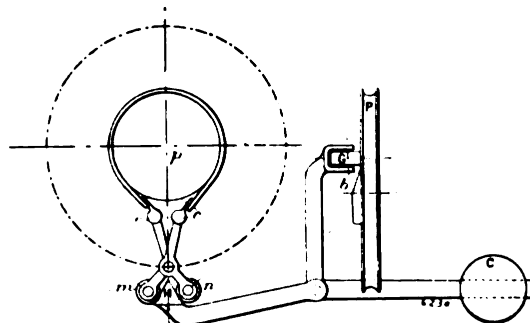


Fig. 5.

la mise en marche par l'action sur le galet G du levier d'une came solidaire de la poulie P entraînée par la chaîne de Galle. Le frein, serré à la position d'arrêt, se desserre donc dès que l'on commande la mise en marche dans un sens ou dans l'autre.

La figure 6 indique le schéma des connexions

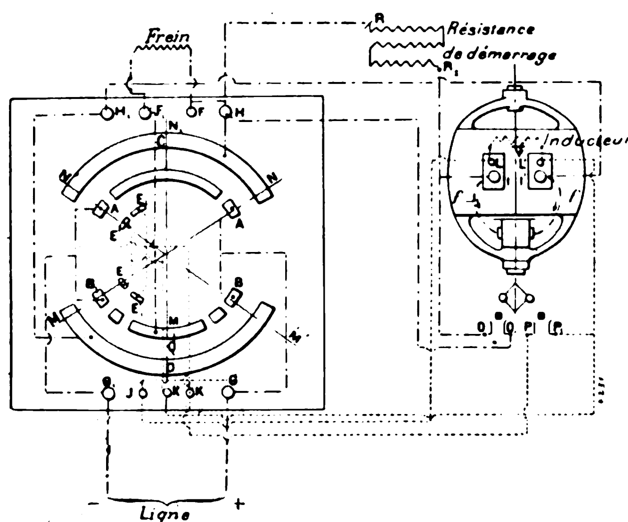


Fig. 4.

réalisées par la manœuvre du commutateur. Dans la position moyenne de celui-ci, le moteur est hors circuit. Si on l'amène en MN, le courant passe dans l'induit en suivant le circuit G, A, C, H, résistance de démarrage RR_1, I, traversée de l'induit dans le sens de la flèche *f*, I', H_1, D, B, G_1, retour à la ligne. En même temps le courant est dérivé dans les inducteurs en suivant le circuit : G, J, L, traversée du moteur dans le sens de la flèche φ, L', K, E, B, G_1, retour à la ligne. Le moteur démarre donc et lorsque sa vitesse est devenue suffisante la force centrifuge enclenche les contacts O et O_1, P et P_1. La mise en contact de O et O_1 ouvre au courant de l'induit le circuit G, A, C, H, O_1, O, I et le reste comme plus haut, de sorte que le courant cesse de passer par la résistance de démarrage. La mise en contact de P et P_1 permet au courant inducteur de revenir par L_1, P_1, P, K_1, G_1. Lorsque le monte-charge, dans son mouvement, rencontre un taquet de la barre de commande, le commutateur reprend sa position moyenne; le circuit de l'induit est donc séparé de la ligne, mais le circuit des inducteurs reste fermé par le dernier trajet; par suite le moteur se transforme en dynamo génératrice, le courant produit se fermant sur la résistance F F_1 en suivant le chemin : I, O, O_1, H, F, F_1, Q, D; H_1, I_1. Il y a freinage et dès que la vitesse a suffisamment diminué, les contacts O et O_1, P et P_1 sont rompus et le commutateur et le moteur se trouvent prêts pour une nouvelle mise en marche. Si maintenant le commutateur au lieu d'être amené en MN, comme nous l'avons supposé, est amené en M' N', le moteur démarre, mais il tourne en sens inverse de celui dans lequel il tournait précédemment.

J. Reyval.

MESURES

Mesure des faibles capacités au moyen des tubes de Geissler, par **Borgmann**. *M. Phys. Zeitung*, 10 août 1901.

Un pôle de la bobine d'induction R, figurée sur le croquis ci-dessous, est relié à la terre, tandis que l'autre pôle est relié par un fil long et de faible section, à une électrode en platine E qui plonge dans une cavité pratiquée dans un bloc de paraffine et remplie d'un électrolyte de haute résistance. Aux extrémités D et F de la cavité sont placées deux autres électrodes en platine reliées aux extremités B et C d'un tube dans

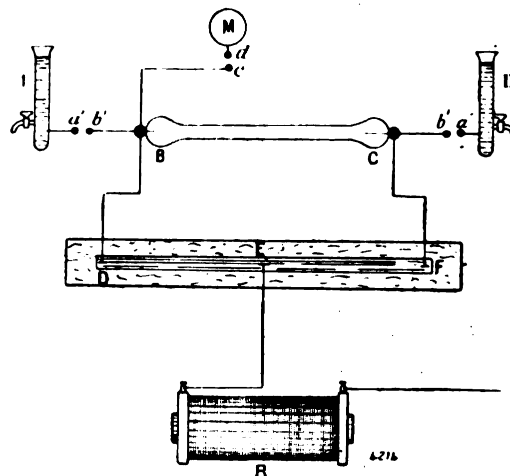


Fig. 1.

lequel on a fait le vide. Ce dernier devient lumineux aussitôt que la bobine d'induction est excitée. La luminosité du tube ne donne aucune indication pour la polarité, et ne change pas si on inverse les pôles.

Si l'électrode E est placée au milieu de la cavité, et si on relie à B et à C deux capacités égales, une raie sombre apparait dans le milieu du tube de Geissler; cette raie est bien définie, et demeure fixe, tandis que, des deux côtés de la raie sombre, la luminosité est la même.

Si on déplace l'électrode E, la raie sombre se déplace aussi dans le tube. Ce phénomème se produit également lorsqu'on fait varier une des capacités reliées à B ou à C de telle sorte que ces deux capacités ne soient plus égales.

Sur cette observation est basée une méthode de mesure des faibles capacités : on compense avec une capacité connue et réglable la capacité à mesurer. On se sert, dans ce but, de deux burettes I et II remplies d'une colonne de mercure dont on peut faire varier la hauteur au moyen d'un robinet de vidange. Ces burettes portent, à leur extrémité inférieure, un fil de platine scellé dans le verre de la paroi. Pour le calibrage de l'appareil, on se sert d'un globe métallique M de capacité connue.

G. Roesch.

Mesure de l'angle de décalage dans un circuit à courants triphasés, au moyen d'un wattmètre, par **A.-S. Mc. Allister**. *Electrical World and Engineer*, t. XXXVIII, p. 849, 23 novembre 1901.

Depuis quelques mois, la construction des instruments destinés à mesurer l'angle de décalage ou le facteur de puissance d'un circuit à courant alternatif a pris un développement extraordinaire, et il semble que le moment soit proche où un indicateur de facteur de puissance sera considéré comme un appareil aussi essentiel que le voltmètre dans l'équipement d'un circuit de distribution d'énergie.

Bien que, jusqu'ici, on ne puisse avoir recours, avec certitude, à de tels appareils de mesures, il est cependant nécessaire de les avoir sous la main. Dans la plupart des cas, la détermination de l'angle de décalage implique la mesure de la puissance effective et de la puissance apparente.

Outre que la méthode de comparaison entre volts-ampères et watts, pour l'évaluation de l'angle de décalage, exige un grand nombre d'instruments, cette méthode est sujette à plusieurs causes d'erreur. Une erreur dans la lecture d'un seul instrument affecte à la fois tous les résultats obtenus ; et quoique, dans certains cas, deux wattmètres puissent être disposés de manière à indiquer la puissance exacte, le produit des ampères par les volts ne pourra exprimer les watts apparents qu'autant que l'on mesurera l'intensité du courant dans chacun des fils lorsque les branches sont chargées de façon asymétrique. En réalité, il est tout à fait possible, dans un courant triphasé supportant des charges non équilibrées (sur les 3 branches), d'obtenir un facteur de puissance indiqué supérieur à l'unité, lorsqu'on néglige de prendre la précaution rappelée ci-dessus.

La méthode consistant à employer un seul wattmètre pour déterminer l'angle de décalage, est exposée ci-après. Bien que le principe n'en soit pas nouveau, M. Mc Allister pense que

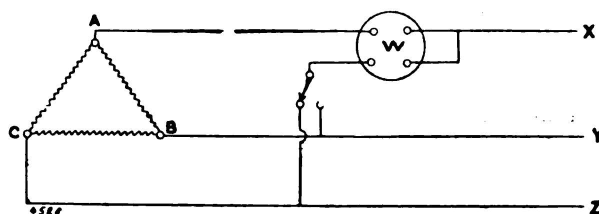


Fig. 1.

cette méthode n'est, en général, pas assez connue pour que sa simplicité dispense de commettre des erreurs. Si on connecte un wattmètre, comme l'indique le diagramme figure 1, de telle sorte que sa bobine d'intensité soit montée en série sur l'un des fils d'un circuit triphasé, et que sa bobine de tension soit montée en dérivation entre ce fil et l'un, d'abord, puis l'autre, des deux autres fils, les deux lectures faites sur l'instrument permettent de déterminer l'angle de décalage du courant, au moyen de la relation suivante :

$$\operatorname{tang} \varphi = \sqrt{3}\, \frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2}$$

dans laquelle φ est l'angle de décalage, et W_1 et W_2, les deux valeurs lues au wattmètre, comme on vient de l'indiquer.

Lorsqu'on aura $\varphi > 60°$, l'une des lectures sera négative, de telle sorte que la différence des lectures sera plus grande que leur somme.

Soit I l'intensité du courant dans le fil AX ;

E la force électromotrice, dans AB et dans AC

On a alors :

$$W_1 = IE \cos(\varphi - 30°)$$
$$W_2 = IE \cos(\varphi + 30°)$$

Et, puisque $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha \cos\beta \mp \sin\alpha \sin\beta$,

$$W_1 - W_2 = IE \cos(\varphi - 30^\circ) - \cos(\varphi + 30^\circ)$$
$$= 2\, IE \sin 30^\circ \sin\varphi = IE \sin\varphi$$
$$W_1 + W_2 = IE \cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)$$
$$= 2\, IE \cos 30^\circ \cos\varphi = IE\sqrt{3}\cos\varphi$$
$$\frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{tg}\varphi$$

Si la force électromotrice AB n'est pas égale à la force électromotrice dans AC, la lecture du wattmètre dans une position quelconque peut être corrigée de manière à donner la valeur que l'on aurait obtenue si les deux voltages avaient été égaux ; dans ce cas, la relation donnée plus haut reste vraie.

Une erreur proportionnelle dans le calibrage de l'échelle du wattmètre affecte également la somme et la différence des lectures, et, par conséquent, elle n'altère pas le rapport de ces deux quantités : il en résulte qu'un wattmètre dont l'échelle présente une erreur quelconque, peut être utilisé pour déterminer la valeur exacte de l'angle de décalage, et qu'un électrodynamomètre quelconque, calibré ou non, peut remplacer le wattmètre dans cette évaluation.

La valeur ainsi obtenue représente exactement l'angle de décalage entre l'intensité du courant dans le fil AX et la tension moyenne entre AB et AC.

Si les trois branches sont également chargées, la somme des deux lectures faites sur un wattmètre exact représentera la puissance réelle, tandis que la différence des deux lectures indiquera la « puissance déwattée ».

ROESCH.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 5 mars 1902

Présidence de M. A. HILLAIRET

M. **Armagnat** lit un ***Rapport sur les travaux de la VIe section*** de la Société, relatifs à l'étude des propriétés magnétiques du fer, et notamment à l'étude des perméamètres. Ce rapport sera analysé dans un prochain numéro.

M. **d'Arsonval** fait ensuite une très remarquable conférence sur les ***Phénomènes électriques aux basses températures,*** qu'il a étudiés au moyen du froid produit par l'air liquide. Il espère pouvoir les étudier prochainement au moyen de l'hydrogène liquide.

Il commence d'abord par exposer quels sont les procédés de fabrication et de conservation des gaz liquides, puis il étudie les propriétés physiques de ces gaz et l'action du froid intense qu'ils permettent d'obtenir sur les phénomènes physiques et chimiques.

Les gaz dits permanents furent liquéfiés pour la première fois, en 1877, par M. Cailletet; sa méthode, qui est classique, consistait à comprimer les gaz à plusieurs centaines d'atmosphères de pression et, ensuite, à les laisser se détendre brusquement. Sous l'action combinée de la pression et de l'abaissement de température résultant de cette détente, les gaz se liquéfiaient. On ne pouvait obtenir ainsi que de faibles quantités de gaz liquéfiés, dont la conservation était impossible.

D'autres essais furent tentés par différents physiciens.

On savait, par les travaux d'Andrews, qu'il est, pour chaque gaz en particulier, une température déterminée au-dessus de laquelle la liquéfaction est impossible, quelle que soit la pression exercée ; au-dessous de cette température critique, la liquéfaction devient possible sous une pression suffisante, pression qui est d'autant plus faible que l'abaissement de température est plus grand. Le problème consistait donc à obtenir des températures de plus en plus basses.

MM. Olszewski et Wroblewski, en faisant évaporer dans le vide de l'éthylène liquide, comme l'avait indiqué M. Cailletet, obtinrent des températures très basses (— 136°) et opérèrent la liquéfaction des gaz.

Les machines à cascade, imaginées par M. Pictet, permettent d'obtenir des tempéra-

tures très basses par le procédé suivant : on commence par liquéfier un gaz peu volatil ; l'évaporation de ce liquide servira à produire un abaissement de température qui servira à liquéfier un autre gaz plus volatil, et ainsi de suite, par cascades successives. Ce procédé n'est pas industriel.

Une autre méthode consiste à faire détendre les gaz comprimés sur le piston d'une machine pour produire du travail ; le gaz détendu, qui s'est refroidi, est, suivant la méthode de Siemens, employé à refroidir le gaz comprimé avant son introduction dans le cylindre. Ce procédé, essayé par Solvay, présente d'assez graves difficultés, le graissage devenant impossible aux trop basses températures, par suite de la congélation des agents lubréfacteurs. Il se produit alors des grippements du piston dans le cylindre. M. Georges Claude a remarqué que l'air liquide peut servir à lubrifier le piston. Il a construit une machine sur ce principe : le graissage se fait d'abord au moyen d'huiles de pétrole congelables à très basses températures ; aux plus basses températures, on emploie l'air liquide. Cette modification permettra peut-être de rendre pratique cette liquéfaction des gaz. Dans le même ordre d'idées, on peut signaler la méthode ingénieuse proposée par lord Rayleigh, qui consiste à remplacer les machines à piston par des turbines.

La méthode employée couramment aujoud'hui est celle de Linde ; c'est elle qui a permis d'obtenir industriellement l'air liquide. Son principe a été indiqué il y a environ quarante ans par Joule et Thomson dans leurs expériences sur le travail intérieur des gaz ; le principe de la récupération de Siemens y est aussi employé. L'air est d'abord comprimé à 220 atmosphères par un compresseur à pompe ; après avoir été refroidi et dépouillé de toute son humidité, l'air comprimé se rend dans un serpentin à l'extrémité duquel il se détend jusqu'à la pression de 20 atmosphères ; l'air détendu et refroidi se rend par un serpentin enveloppant le premier à un tube où il est repris par le compresseur ; un troisième serpentin enveloppant les deux premiers, sert de chemise, pour éviter les apports de chaleur aux deux premiers par l'extérieur. Sous l'action combinée de la pression et du refroidissement produit par la détente et la récupération, l'air ne tarde pas à se liquéfier d'une façon continue. On peut en obtenir ainsi de 1 litre à plusieurs litres par heure avec une force motrice de quelques chevaux seulement.

Le point caractéristique de l'appareil de Linde, c'est l'emploi de la détente partielle, qui permet d'obtenir un rendement de beaucoup supérieur à celui qu'on obtiendrait en faisant détendre l'air jusqu'à la pression atmosphérique. En effet, le refroidissement est proportionnel aux pressions initiale et finale, soit ici à $220 - 20 = 200$; le travail de compression est proportionnel au quotient de ces mêmes pressions, soit à $\frac{220}{20} = 11$. Si l'on avait laissé détendre l'air jusqu'à la pression atmosphérique, l'abaissement de température serait proportionnel à 220, mais le travail de compression serait proportionnel aussi à 220, c'est-à-dire 20 fois plus grand que précédemment. En réalité, un compresseur qui, avec détente de 220 à 1 ne permettrait de liquéfier que 15 m^3 d'air à l'heure permet, avec détente de 220 à 20 d'en liquéfier 75 m^3.

L'air liquide, une fois obtenu, est conservé dans des carafes formées de deux vases en verre concentriques, entre lesquels le vide parfait a été fait et qui sont argentés ; le vide empêche l'apport de chaleur extérieure par convection et l'argenture empêche le rayonnement. Dans ces vases, l'air liquide se comporte comme de l'eau dans des carafes, car l'apport de chaleur extérieure est insuffisant pour le vaporiser. On peut l'y conserver pendant des semaines entières ; M. d'Arsonval en possède un qui peut conserver son liquide pendant vingt-neuf jours. La courbe représentative de la quantité d'air évaporé est une droite, ce qui semble indiquer que le seul apport de chaleur extérieure provient de la soudure des deux vases concentriques. Le principe des vases à vide a été indiqué par Dulong et Petit ; dès 1887, M. d'Arsonval les a employés pour conserver les gaz liquéfiés, il les a présentés en 1888 à la Société de biologie ; l'application de l'argenture est due à M. Dewar.

L'air liquide devrait se composer des mêmes éléments que l'air atmosphérique et dans les mêmes proportions ; mais, en réalité. il ne tarde pas à s'enrichir en oxygène par suite de l'évaporation plus rapide de l'azote ; comme la densité de chaque liquide est différente, de la densité du mélange mesurée avec un densimètre

ordinaire, on peut conclure à la composition du liquide en expérience. Celui qui a servi à M. d'Arsonval à effectuer les expériences devant la *Société des Electriciens* pesait 0,960 kg par litre et avait une température d'ébullition de — 191°.

L'air liquide au sortir de l'appareil de production, est souillé de différentes impuretés, notamment de l'acide carbonique de l'air atmosphérique qui a été liquéfié aussi ; pour le débarrasser de ces impuretés, on le filtre comme un liquide ordinaire sur un papier Joseph ; l'acide carbonique s'y congèle et est arrêté.

L'oxygène donne une couleur bleuâtre au liquide ; l'azote est incolore.

La plupart des propriétés de l'air liquide sont dues à sa basse température. Voici les principales.

Les corps mous et élastiques qui y sont plongés deviennent durs, friables, cassants comme du verre, puis reprennent leurs propriétés ordinaires à la température normale. Du caoutchouc maintenu pendant quelques instants dans l'air liquide devient dur, brisant ; on peut de même, piler un bouchon dans un mortier, réduire de la viande en poudre impalpable ; une casserole en fer ayant contenu de l'air liquide peut être brisée entre les doigts ; enfin, on a pu, par ce procédé, piler des microbes en poudre, ce qui semble un paradoxe, mais a permis paraît-il de résoudre certains problèmes de biologie microbienne des plus intéressants.

A ces basses températures, la résistance des corps à la rupture est beaucoup augmentée ; un fil de fer plongé dans l'air liquide peut supporter des poids trois fois supérieurs à ceux qui le rompent à la température ordinaire.

Certains corps plongés dans l'air liquide, changent de couleur : M. d'Arsonval le prouve au moyen de biodure de mercure qui, rouge vermillon à la température ordinaire, devient jaune dans l'air liquide. Il reprend sa couleur primitive en revenant à la température ordinaire.

L'affinité chimique disparaît presque entièrement à ces températures ; cependant, par suite de la richesse de l'air liquide en oxygène, le charbon brûle, dans l'air liquide avec une grande activité, un éclat remarquable et un développement de chaleur considérable. M. Borchers a proposé de profiter des hautes températures ainsi atteintes pour fabriquer du carbure de calcium sans passer par l'intermédiaire du four électrique.

La possibilité d'obtenir des froids de plus en plus rigoureux a permis à M. d'Arsonval de séparer les liquides et les gaz par congélations successives Il a pu ainsi, par exemple, isoler des essences très légères de pétrole, qui ne se congèlent qu'à de très basses températures et lui ont permis de construire des thermomètres très utiles pour ces basses températures. Il a pu préparer de l'hydrogène pur avec du gaz d'éclairage ordinaire en faisant simplement passer ce dernier dans un tube plongé dans l'air liquide ; tous les corps autres que l'hydrogène pur sont condensés.

La chaleur spécifique des métaux tend à diminuer de plus en plus avec la température, en sorte que, vers le zéro absolu, il suffit d'une très petite quantité de chaleur pour élever beaucoup la température.

Les expériences de M. d'Arsonval ont permis de constater que bien des idées acceptées en physique sont loin d'être exactes dans toute l'échelle des températures et des pressions. Ainsi, la chaleur spécifique de l'air par unité de poids, mesurée à la température de — 100° C. et à des pressions différentes a été trouvée.

de 0,2585	à 10 atm.
de 0,284	à 20 »
de 0,375	à 40 »
de 0,866	à 75 »

Elle est donc loin d'être constante.

M. d'Arsonval expose ensuite l'action de ces basses températures sur les phénomènes vitaux ; ces questions sortent du cadre de *L'Éclairage Électrique*.

Les phénomènes magnétiques acquièrent à ces basses températures une très grande intensité. Certains aciers au nickel étudiés par M. Ch.-Ed. Guillaume qui ne sont pas magnétiques à la température ordinaire le deviennent aux basses températures. Ces aciers se divisent en deux classes, les aciers irréversibles qui, après avoir été plongés dans l'air liquide restent magnétiques lorsqu'ils reviennent à la température ordinaire et ne perdent ces propriétés qu'après avoir été chauffés à des températures qui peuvent atteindre plusieurs centaines de degrés. Les aciers réversibles sont ceux dont les propriétés magnétiques dépendent de la température à tout instant, et qui, par conséquent, perdent en revenant à la

température ordinaire les propriétés qu'ils avaient acquises aux basses températures.

La perméabilité du fer doux est affectée par le froid de la façon suivante : elle diminue dans l'air liquide pour une certaine valeur de la force magnétisante, puis, quand celle-ci augmente, elle augmente aussi jusqu'à sa valeur normale; il n'y a, en quelque sorte, qu'un déplacement des valeurs de la perméabilité en fonction de la force magnétisante.

Aux basses températures, l'oxygène est très magnétique; sa perméabilité qui semble accrue en proportion de la pression et de l'abaissement de température, est très élevée. On peut le montrer en faisant couler de l'air liquide entre les pôles d'un puissant électro-aimant, à l'air libre. L'oxygène est attiré, tandis que l'azote se dégage librement; par suite du violent abaissement de température qui est ainsi produit, l'oxygène se solidifie et bientôt les deux pôles de l'électro-aimant sont réunis par un cylindre d'oxygène solide; c'est un véritable triage magnétique de l'oxygène.

La résistance électrique est de beaucoup diminuée aux basses températures, surtout pour les métaux purs; à la température de l'air liquide, la résistance du cuivre est environ 6 fois moindre qu'à zéro degré. La variation de résistance est différente pour les différents métaux; toutes les courbes représentatives de la résistance en fonction de la température tendent à converger vers le zéro absolu sans cependant l'atteindre; elles deviennent asymptotes à l'axe des températures, en sorte qu'au zéro absolu il y a encore une résistance électrique, très faible, mais appréciable.

L'air liquide est un très bon isolant électrique et offre une très grande résistance à l'éclatement de l'étincelle. M. d'Arsonval le démontre en faisant fonctionner une bobine de Tesla, à haute fréquence, plongée dans un bain d'air liquide au lieu d'être plongée dans un bain d'huile.

M. d'Arsonval montre ensuite que l'air liquide peut être utilisé pour la préparation de solutions concentrées d'ozone dans l'oxygène liquide; on arrive ainsi à obtenir de l'ozone liquide presque pur; l'ozone liquide pur est très explosif sous le moindre choc; il suffit de plonger un fil métallique dans ce liquide pour provoquer une violente explosion; sa température est de — 118°.

L'ordre du jour appelle ensuite la communication de **M. Paul Charpentier**, sur les ***Canalisations électriques***, communication motivée par la discussion commencée dans la précédente séance [1]. M. Blondin en donne le résumé suivant :

M. Charpentier rappelle que dans l'établissement des canalisations électriques deux points sont à envisager : 1° la conservation de ces canalisations et la sécurité qu'elles présentent; 2° la perte d'énergie résultant du défaut d'isolement.

Jusqu'ici l'arbitraire le plus grand a régné en ce qui concerne les prescriptions à imposer aux constructeurs pour obtenir des câbles réalisant au mieux les conditions de conservation, de sécurité et de perte minimum d'énergie. L'isolement, qui logiquement ne devrait intervenir que dans la considération de la perte d'énergie, est encore trop souvent regardé comme un critérium de la réalisation des conditions de sécurité et de conservation. M. Charpentier est d'avis que dans les tentatives de réglementation, ces deux sortes de conditions doivent être nettement séparées et il les examine successivement pour les canalisations à courant continu et celles à courant alternatif.

I. Canalisations a courant continu. — 1. *Isolement.* — La perte d'énergie à laquelle une station centrale peut consentir dans ses canalisations par suite de leur défaut d'isolement est une quantité qui peut être définie très exactement et qui permet de déterminer avec rigueur la valeur de la résistance d'isolement des canalisations. Or les stations centrales qui arrivent à réduire la perte d'énergie dans l'*ensemble* de leurs installations au millième de l'énergie produite s'estiment fort heureuses. Pour une station de 1 000 kw à 250 volts avec un développement de 100 km de canalisation, cette proportion correspond à un isolement kilométrique d'environ 100 000 ohms. Dès lors, est-il rationnel d'exiger que les câbles aient une résistance d'isolement de 500 mégohms par kilomètre, soit 5 000 fois plus grande? Si une résistance d'isolement aussi élevée constituait une garantie de bonne conservation et de sécurité, on pourrait à la rigueur

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 254, 15 février 1902, le compte rendu des observations présentées par MM. Grosselin, Gay et Brylinski, et t. XXX, p. LXI, 1er février, le texte du rapport de M. Sartiaux sur ce sujet.

l'admettre. Mais il n'est nullement prouvé que des canalisations dont l'isolement serait de l'ordre du mégohm par kilomètre ne posséderaient pas néanmoins toutes les garanties de longévité et de bon fonctionnement. Par conséquent les règlements industriels, tout en tenant compte des circonstances actuelles, devraient se garder de perpétuer l'obligation des isolements élevés; cette réserve est d'autant plus impérieuse que dans les frais d'établissement d'une station de distribution, les canalisations entrent pour plus de la moitié, et que dans le prix des canalisations le cuivre n'entre guère que dans une proportion de 50 à 60 p. 100.

Mais s'il convient de calculer la valeur minimum de la résistance d'isolement d'après la perte d'énergie consentie, il convient aussi que les procédés de mesure employés pour s'assurer que cette valeur a été obtenue, soient de nature à la déterminer exactement et ne se bornent pas à fournir une indication plus ou moins grossière.

Or, pour avoir cette exactitude, il est indispensable de définir parfaitement non seulement la méthode de mesure, mais encore les conditions dans lesquelles elle doit être utilisée.

La méthode qui répond le mieux à la définition de la résistance d'isolement est celle dite « méthode de la déviation » dans laquelle on observe les déviations d'un galvanomètre très sensible intercalé sur un circuit comprenant une source de force électromotrice et l'isolant du câble que l'on essaie [1]. Comme l'a rappelé M. Charpentier dans un article récemment publié dans ce journal [2], les autres méthodes, et en particulier la méthode de la perte de charge, ne peuvent donner, à moins de corrections laborieuses, la valeur de la résistance d'isolement qui intervient dans la perte d'énergie.

La détermination de la résistance d'isolement des câbles s'effectuant généralement par la méthode de déviation, une prescription à cet égard n'est pas indispensable. Par contre, il est de toute nécessité d'indiquer le temps qui doit s'écouler entre l'instant où l'on met le câble sous charge et celui où l'on note la déviation du galvanomètre devant servir au calcul de la résistance d'isolement. On sait en effet que l'intensité du courant décroît avec le temps et que le taux de décroissement dépend de la capacité du câble, le décroissement étant en général d'autant plus rapide que la capacité du câble est plus faible. Le plus souvent les cahiers des charges fixent à deux minutes le temps qui doit s'écouler entre l'application de la force électromotrice et la lecture de la déviation. Or si l'on se reporte aux courbes de la figure 3 publiée dans le précédent article de M. Charpentier (n° du 15 février, p. 235) on voit qu'au bout de deux minutes de charge l'intensité du courant qui traverse alors le galvanomètre est encore dans la période de rapide variation et ne correspond nullement à la résistance d'isolement. On voit en outre, par la comparaison des courbes III et IV relatives à deux câbles isolés de la même manière, mais ayant des diamètres différents et par conséquent des capacités différentes, que suivant que la lecture de la déviation est faite au bout de une ou trois minutes de charge, c'est le câble IV ou le câble III qui a la plus grande résistance d'isolement.

Quelle durée de charge convient-il de prendre? On pourrait adopter une valeur variable suivant le câble essayé et définie par la condition que la variation $\frac{di}{dt}$ du courant, à l'instant choisi, soit égale ou inférieure à un centième. Dans ces conditions, on aurait l'avantage d'avoir, pour des câbles ayant même gaine isolante et des âmes de différents diamètres, des valeurs comparables de la résistance d'isolement, et de ne plus trouver, comme avec les conditions actuelles, des isolements kilométriques de 50000 mégohms, et de 500 mégohms pour des câbles ayant respectivement des âmes de 5 mm² et de 1 000 mm² de section, avec même gaine isolante de 3 mm d'épaisseur.

Mais la forme des courbes représentant l'in-

(1) Si l'isolant du câble était un diélectrique parfait, le galvanomètre accuserait seulement l'intensité du courant de charge résultant de la polarisation du diélectrique et sa déviation deviendrait nulle quand la charge serait complète. Dès lors, le câble ne donnerait lieu à aucune perte d'énergie. Les courbes de la déviation galvanométrique en fonction du temps indiquant que le courant de charge ne s'annule pas, il faut en conclure que les isolants employés possèdent une certaine conductibilité, peut-être due, dit M. Charpentier, à des filets conducteurs disséminés dans le diélectrique. Comme c'est l'inverse de cette conductibilité qu'il s'agit de mesurer, c'est évidemment la méthode de déviation qui répond le plus simplement à la mesure.

(2) Voir *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 229, 15 février 1902.

tensité du courant de charge en fonction du temps semble indiquer que ces courbes sont asymptotiques à une parallèle, à l'axe des temps; en d'autres termes, que l'intensité du courant tend vers une limite. Or, dans les canalisations à courant continu, c'est cette valeur limite du courant qui intervient dans la perte d'énergie par défaut d'isolement; c'est donc cette valeur limite du courant qu'il convient de connaître, tout au moins pour le cas des canalisations à courant continu. Aussi, M. Charpentier propose-t-il de prendre une durée de charge aussi longue que possible, 5 minutes, 10 minutes même; on aurait ainsi une valeur de la résistance d'isolement à peu près indépendante de la capacité des câbles, l'influence de celle-ci se manifestant principalement pendant les premières minutes de la charge. Le seul reproche que l'on pourrait faire à cette proposition serait d'augmenter considérablement la durée des essais; mais M. Charpentier a montré, dans l'article dejà rappelé, que la durée des essais de dix tronçons de câbles à trois conducteurs est beaucoup moins longue avec une charge de 5 minutes, si l'on s'y prend convenablement, qu'avec une charge de 2 minutes, si l'on opère comme on le fait ordinairement.

Deux autres conditions doivent être fixées pour que les mesures d'isolement donnent des résultats correspondants à la perte d'énergie qui a servi à déterminer la valeur minimum de la résistance d'isolement : il faut préciser la différence de potentiel employée et la température à laquelle doivent être faits les essais. Pour la différence de potentiel, il convient évidemment de prendre celle que supporteront les câbles en service, condition facile à réaliser pour le cas d'essais de câbles de réseaux à courant continu. Quant à la température, elle est plus difficile à préciser; pour se rapprocher, autant que possible, de celle qu'ont les câbles en service, M. Charpentier propose de ne faire les essais d'isolement, soit à l'atelier, soit après pose, qu'après les avoir fait traverser, pendant quelque temps, par un courant d'intensité sensiblement égale à celle du courant qu'ils doivent conduire en service normal.

« En résumé, conclut M. Charpentier, la considération essentielle qui doit inspirer l'établissement des isolements est la perte maximum à laquelle peut consentir une station centrale. Elle a l'avantage incommensurable de ménager toutes les recherches qui ont pour but d'introduire des isolants mieux appropriés et d'abaisser le prix des câbles, soit que l'on diminue les épaisseurs actuelles, soit que l'on trouve une enveloppe bon marché, susceptible de remplir les conditions des trois ou quatre enveloppes actuelles des câbles armés. »

2. *Conservation et sécurité.* — Sur la question de la conservation des câbles, M. Charpentier est très bref, car on possède peu de données sur l'influence d'une action électrique prolongée sur les isolants usuels. Il ne croit pas, d'ailleurs, qu'il résulte du courant excessivement faible du régime permanent une modification appréciable de l'isolant [1].

La seule modification paraissant à craindre est celle résultant de l'échauffement de l'isolant par le passage du courant, mais si l'on a soin de faire les mesures d'isolement après échauffement, comme il a été proposé plus haut, et d'effectuer les mesures de résistance à la rupture après avoir pris cette même précaution, il semble que l'on pourra compter sur la durabilité du câble si ces mesures donnent de bons résultats.

---

[1] Dans les isolants à base d'hydrocarbures, il importe peu, dit M. Charpentier, qu'il y ait une transformation chimique si le composé résultant est un isolant, aussi bien que la substance primitive. A ce point de vue, il serait intéressant de savoir si l'action prolongée du courant modifie les propriétés isolantes des substances usuelles réduites en couches de plus en plus minces, ou plus généralement quel est le courant de régime que des isolants de plus en plus défectueux peuvent supporter sans altération de leurs propriétés isolantes. Au lieu de monter dans l'échelle des isolements, il y aurait un intérêt majeur à descendre à la dernière limite de l'isolement compatible avec un bon fonctionnement. Au lieu d'imposer au constructeur un isolement arbitraire, ne vaudrait-il pas mieux lui laisser les coudées franches et lui permettre de diminuer de plus en plus l'épaisseur des gaines isolantes et, par suite, le prix des câbles. Si une simple bande de papier paraffiné ou de toile imprégnée d'huile de lin cuite présente une résistance à la rupture de 2 000 à 3 000 volts, un câble simplement isolé de cette manière n'est-il pas suffisant pour un réseau de 110 volts? Il est vrai que la capacité de ce câble sera très élevée et si on prend l'isolement au bout d'une minute de charge, on trouvera de 10 à 50 mégohms au kilomètre. Mais on sait maintenant ce qu'il faut penser de cet isolement qui sera 10 ou 20 fois plus fort après dix minutes de charge ou en régime permanent, sans oublier qu'un isolement de quelques mégohms est largement suffisant pour une foule d'applications.

Quant à la sécurité, il n'y a guère lieu de l'envisager pour les câbles à courant continu, car d'une part, les hautes tensions continues ne sont utilisées que dans des cas tout à fait spéciaux et, d'autre part, pour les basses tensions l'épaisseur de l'isolant est toujours suffisante pour éviter toute crainte de rupture de la couche isolante [1].

II. Canalisations a courants alternatifs. — M Charpentier trouve inutile d'établir une classification des canalisations suivant la tension du courant qu'elles sont destinées à transmettre car en raison des conditions spéciales de chaque installation, un câble construit pour une station à 5 000 volts ne convient pas nécessairement pour toutes les stations de même tension. Cette remarque faite il examine les conditions qu'il convient d'imposer en vue de l'isolement, de la conservation et de la sécurité de ces câbles.

1° *Isolement*. — Il ne peut être question ici de perte d'énergie due au passage du courant alternatif à travers l'isolant, à moins que l'on n'admette que l'isolant présente bien une conductibilité correspondant aux asymptotes des courbes dont il a été question, conductibilité due à des filets conducteurs traversant l'isolant de part en part. Si cette hypothèse se trouvait vérifiée expérimentalement, on calculerait la résistance d'isolement d'après la perte consentie comme dans le cas des canalisations à courant continu.

2° *Conservation et sécurité*. — La qualité la plus importante des câbles à hautes tensions alternatives est la résistance de leur isolement à la rupture. Or, suivant M. Charpentier, les fabricants de câbles ne se sont pas suffisamment occupés jusqu'ici de rechercher comment on pourrait obtenir économiquement des câbles destinés aux hautes tensions actuelles; ils se sont bornés à augmenter l'épaisseur de l'isolant à mesure que la tension croissait.

En ce qui concerne les essais à la rupture diélectrique, on a pris généralement l'habitude de soumettre les câbles à une tension double de celle qu'ils doivent supporter en service normal; l'essai se fait entre conducteurs et entre plomb et conducteurs. A ce propos, M. Charpentier fait observer qu'il y a lieu d'imposer la

---

[1] A ce propos, M. Charpentier développe quelques vues sur la possibilité de diminuer le prix de revient des canalisations électriques, tout en réalisant les conditions d'isolement, de conservation et de sécurité qu'on est en droit d'exiger.

« Une double voie, dit-il, semble ouverte dans ce sens. On pourrait d'abord entourer le cuivre d'une épaisse enveloppe d'une matière qui, à la fois, soit étanche, quoique médiocrement isolante, et puisse supporter les efforts mécaniques extérieures sans se fendre ni se percer facilement. Cette enveloppe serait appliquée sur le cuivre nu apporté à pied d'œuvre ; et on aurait ainsi une fabrique de câbles en plein air, mais qui ne demanderait qu'un matériel rudimentaire, et dont la production se ferait au fur et à mesure de la pose. Les stations centrales pourraient acheter directement leur cuivre et dans bien des cas, monter par elles-mêmes leurs réseaux. Les matériaux ne manqueraient certainement pas et je ne citerai qu'à titre d'indications grossières les bitumes, le sable, l'argile, les débris de verre, les oxydes, les goudrons, les papiers et les chiffons, les sous-produits d'une foule d'industries chimiques, les pâtes de papier, le bois sec et mélangé de matières grasses, etc. Il y a là un champ de recherches largement ouvert aux inventeurs quand on aura bien reconnu que les isolants les plus parfaits ne sont pas les seuls qui puissent convenir à une bonne fabrication, quand l'expérience aura montré quel est l'isolement minimum avec lequel un réseau peut fonctionner et quand on se décidera à prendre pour base de cet isolement la perte d'énergie maximum à laquelle on peut consentir dans la canalisation. Étant donnée la grande épaisseur sous laquelle on pourrait appliquer ces matériaux à bon marché, on arriverait à une régularité et une uniformité de l'isolation, qu'on obtient très difficilement avec les faibles couches isolantes des câbles armés ; pour la même raison, le cuivre serait bien mieux à l'abri des actions extérieures, tels que les coups de pioche, qui traversent si facilement le feuillard et le plomb; enfin, l'enveloppe de ces canalisations serait complètement à l'abri de l'électrolyse, si funeste aux câbles armés.

» Dans une voie tout opposée, mais que je crois moins sûre, on pourrait chercher à diminuer de beaucoup l'épaisseur isolante des câbles armés en recourant à des substances qui présentent des résistances à la rupture considérables, telles que le mica et la micanite. Si une simple couche de papier manille résiste à 3 000 volts sous une épaisseur de 0,1 mm et si l'on hésite à se contenter de cette simple gaine, pour 110 volts, avec un facteur de sécurité de 30, sous prétexte que l'on n'obtient que 10 à 20 mégohms au kilomètre et même moins, après une minute de charge, n'est-il pas temps de revenir à un peu plus de bon sens en matière de mégohms ? Je ne me dissimule pas les difficultés mécaniques qu'il y aurait à faire un câble satisfaisant avec un isolant de 0,1 mm d'épaisseur. Il n'y a là qu'une indication ; cependant, ces difficultés ne paraissent pas insolubles si l'on ne veut pas s'astreindre, sans raison, à faire, comme dans le câble armé, un tout rigide du conducteur et des trois ou quatre enveloppes qui l'entourent, ce qui a pour résultat de soumettre la gaine isolante à des efforts mécaniques dangereux de la part des armatures entre lesquelles elle est comprimée. »

même tension pour les essais entre conducteurs que pour ceux entre plomb et conducteurs. Il faut, en effet, que si un conducteur se trouve mis à la terre accidentellement, les autres puissent supporter la tension totale de service, et c'est une considération que les constructeurs négligent généralement. Le plus souvent la résistance à la rupture entre les conducteurs est beaucoup plus grande qu'il n'est nécessaire dans les câbles courants, tandis que la résistance entre conducteurs et plomb est trop faible [1]. Aussi M. Charpentier croit-il pouvoir affirmer que la plupart des accidents qui se produisent sur les câbles armés à haute tension proviennent d'abord d'une décharge entre conducteurs et plomb qui carbonise l'isolant et produit le court circuit final entre conducteurs; il a d'ailleurs vérifié expérimentalement que sous la tension de 2 000 à 3000 volts un courant de 0,25 à 0,5 ampère carbonise complètement une gaîne isolante en quelques secondes.

En ce qui concerne la valeur de la tension à adopter dans les essais de résistance à la rupture, M. Charpentier est d'avis que pour les essais après pose et portant sur l'ensemble des canalisations, il ne faut pas prendre une tension trop différente de la tension de service, afin de ne pas fatiguer inutilement les isolants. Dans les essais en cours de fabrication, l'emploi d'une tension double de celle de service lui paraît recommandable, mais il estime qu'il faudrait auparavant faire des essais sur petits échantillons, jusqu'à rupture de l'isolant. Si cette rupture se produit sous 30 000 volts, par exemple, le câble ne devrait pas être utilisé sur des réseaux dont la tension dépasse 6 000 à 7 500 volts; on aurait ainsi un « facteur de sécurité » de 5 ou 4, et dans les essais en fabrication, sous 12 000 ou 15 000 volts, la tension serait encore suffisamment éloignée de la tension de rupture pour n'avoir pas à craindre que ces essais fatiguent l'isolant. M. Charpentier voudrait encore que les essais en cours de fabrication et après pose fussent exécutés après avoir fait traverser les câbles par le courant maximum qu'ils sont appelés à transmettre et pendant un temps suffisant pour que l'isolant ait pris sensiblement la température qu'il atteindra en service courant.

Conclusions. — En terminant, M. Charpentier répond à quelques objections qui pourraient être faites aux basses valeurs qu'il propose pour l'isolement des canalisations.

En premier lieu, on pourrait craindre que si les câbles n'ont qu'un faible isolement, on ne puisse facilement reconnaître les défauts d'isolement qui peuvent s'y produire par l'usage. Mais d'abord un défaut qui aurait une résistance de quelques mégohms ne lui paraît pas dangereux pour une canalisation à courant continu, et, dans le cas d'une canalisation à courants alternatifs de haute tension, la résistance des points faibles ne tarde pas à s'abaisser à une valeur qui en rend la découverte immédiate. D'ailleurs s'il y avait quelques difficultés dans la recherche des défauts ayant une résistance de l'ordre de celle du câble, la méthode antérieurement proposée par l'auteur [1] lèverait ces difficultés.

La seconde objection est que, s'il faut faire les mesures d'isolement après 10 ou même 15 minutes de charge, ces mesures demanderont un temps considérable, dont on ne dispose pas généralement dans les ateliers. Or, dans un

[1] L'isolant entre plomb et conducteurs est aussi plus exposé à la rupture pour plusieurs autres raisons. D'abord la capacité entre cuivre et plomb est environ quatre à cinq fois plus forte qu'entre conducteurs; les résonances des harmoniques supérieurs se produisent donc beaucoup plus facilement sur la différence de potentiel entre le plomb et le cuivre que sur la différence de potentiel entre conducteurs.

D'autre part, M. O'Gorman, dans une communication à l'Institution of Electrical Engineers a montré que la chute de potentiel par unité d'épaisseur en allant de l'âme à l'enveloppe n'est pas la même suivant la distance du point considéré à l'axe du câble; elle varie dans un diélectrique homogène en raison inverse de la distance de sorte que les couches les plus voisines de l'âme sont soumises à des efforts beaucoup plus grands que les couches voisines du plomb. Pour mieux répartir ces efforts, il faudrait constituer la gaine isolante par des couches concentrique de substances ayant des pouvoirs inducteurs spécifiques différents. Mais l'ordre de succession de ces couches à pouvoirs inducteurs divers n'est évidemment pas indifférent. Or, dans la confection des câbles à isolant en papier imprégné d'huile et de résine, il se produit des couches concentriques, à pouvoirs inducteurs différents, mais dont les positions relatives sont inverses de celles qui correspondraient à une chute de potentiel uniforme.

[1] P. Charpentier. Recherche des défauts et contrôle de l'isolement sur les réseaux électriques, *Écl. Élect.* t. XXIX, p. 196, 9 novembre 1901.

article récent [1], l'auteur a montré qu'en groupant convenablement les câbles à essayer, des mesures de ce genre exigent un temps moindre que celles où l'on limite la durée de la charge à deux minutes, mais où l'on suit les procédés ordinaires.

M. E. Sartiaux lit ensuite une note de M. **R. Picou** sur les ***Câbles industriels***.

M. Picou voit avec plaisir qu'il y a lieu d'espérer que l'accord ne peut tarder à exister entre constructeurs et consommateurs sur l'insignifiance absolue des chiffres d'isolement atteignant des milliers de mégohms par kilomètre [2].

Il ne méconnait pas cependant l'utilité des mesures d'isolement; les valeurs de l'isolement sont au contraire fort utiles à connaître en tant que *valeurs comparatives*. Mais pour que la comparaison soit possible, il faut bien spécifier la méthode de mesure, le temps de charge, etc.

Quant à chiffrer la valeur de l'isolement, cela semble bien difficile, « aussi longtemps que les cahiers des charges comme aussi les catalogues des fabricants ignoreront de parti pris l'influence du diamètre du conducteur sur la valeur de l'isolement du câble et atteindront le câble de 100 mm² au même isolement kilométrique que le fil de 3 mm² ». Il conviendrait de limiter les spécifications à ceci : nulle bobine de câble ne devra s'écarter de la valeur moyenne de l'isolement de l'ensemble de plus d'une quantité donnée ; l'écart pourrait être de 25 p. 100 en plus ou en moins par exemple, mais il ne faudrait pas préciser un chiffre avant que les expériences aient permis de reconnaître quels sont les écarts inévitables malgré le soin apporté à la fabrication.

Passant aux essais à la rupture du diélectrique, M. Picou fait observer que si les conditions imposées étaient comparables à celles que l'on exige pour l'isolement, ces essais devraient être faits à une tension 1 000 ou 10 000 fois plus grande que la tension en service. On se contente généralement de la tension double. Mais M. Picou ne pense pas que l'on puisse fixer le facteur par lequel on doit multiplier la tension de service ; ce soin doit être laissé à l'ingénieur de l'exploitation et déterminé d'après la forme des courbes des alternateurs ; la valeur 2 paraît trop faible ; la valeur 3 pourrait l'être aussi.

Ce qui précède se rapporte aux essais à l'atelier, dont l'objet est de vérifier la *qualité des matériaux*. Pour les essais après pose, qui ont pour but de contrôler la *qualité du travail*, la valeur imposée de l'isolement doit tenir compte du nombre et de la nature des accessoires de pose : boîtes de jonction, de branchement, etc., un petit nombre de mégohms sera toujours suffisant pour n'apporter aucun trouble dans l'exploitation. Quant à l'essai à la rupture, il est important de le faire avec les machines même de l'exploitation. Une tension supérieure de un quart à celle du service normal, tension qu'il sera généralement facile d'atteindre, semble suffisante; une augmentation de moitié serait certainement préférable.

M. Picou est d'avis qu'il convient de limiter à un an la durée de la garantie du constructeur, garantie qui ne doit porter que sur les vices cachés de fabrication ou de pose ayant échappé de bonne foi aux essais et dont la sanction est la réparation sans frais du défaut constaté.

A ce propos, il déplore la tendance trop fréquente de l'exploitant d'incriminer, lors d'un accident, la qualité du matériel, câbles, appareils du tableau ou dynamos, suivant le point où se sont manifestées les conséquences de l'accident. Souvent la cause première de l'accident est une maladresse commise dans l'exploitation ; M. Picou cite plusieurs exemples d'accidents de ce genre [1].

J. B.

---

[1] P. Charpentier. Notes sur les essais d'isolement, *Écl. Élect.*, t. XXX, p. 229. 15 février 1902.

[2] « Ces valeurs élevées, qui semblent un dernier vestige des spécifications relatives aux âmes de câbles sous-marins, sont absolument dépourvues de sens pour nos câbles industriels. On n'a jamais apporté même l'ombre d'un argument en faveur de la supériorité d'un isolement de 3000 Ω : km sur un de 30; et l'on peut se demander quel est l'état d'esprit des rédacteurs de cahiers de charges qui non seulement perpétuent ces errements, mais vont en les aggravant sans cesse. M. Grosselin a rappelé, avec raison, que depuis dix ans les exigences ont passé de 10 à 5000 Ω : km. Si, comme on l'a fait remarquer, on découvre une composition douée d'une très grande rigidité diélectrique, de 10 kilovolts par millimètre, par exemple, un câble à deux conducteurs recouverts chacun de 0,5 mm de ce composé pourra fonctionner à 3000 volts avec un coefficient de sécurité égal à 3. Mais si le pouvoir isolant de ce composé est seulement égal à celui des matières employées aujourd'hui, il est fort probable que l'isolement sera bien inférieur à 500 Ω : km surtout si la section est un peu forte. Faudra-t-il pour cela, renoncer aux avantages économiques de cette nouvelle matière ? »

[1] « 1° Dans une distribution par courant continu

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 24 février 1902.

Application de l'arc chantant de Duddell à la mesure des faibles coefficients de self-induction, par **Paul Janet**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 452-463.

On sait, par les expériences de Duddell, que si, sur un arc à courant continu, on met en dérivation un circuit comprenant un condensateur de capacité C et une self-induction L, l'arc, dans certaines conditions de réglage, rend un son très pur [1] ayant pour période

$$T = 2\pi\sqrt{CL}. \tag{1}$$

Pour des capacités de 7 microfarads à 8 microfarads et des self-inductions très faibles, se réduisant aux spirales des fils de communication, le son obtenu est très aigu et l'intensité du courant alternatif à grande fréquence peut atteindre 20 à 25 ampères efficaces dans le circuit qui comprend le condensateur.

Cela posé, mesurons, avec un ampèremètre thermique, l'intensité I dans le circuit dérivé, avec un voltmètre thermique la différence de potentiel e aux bornes de la bobine; nous avons, en négligeant la résistance de cette bobine devant sa réactance (rien n'empêcherait d'ailleurs d'en tenir compte) et en négligeant aussi la self-induction du reste du circuit,

$$I = \frac{e}{L\omega} = \frac{e}{L}\cdot\frac{T}{2\pi} \tag{2}$$

En éliminant T entre (1) et (2), on a

$$L = \frac{e^2 C}{I^2},$$

formule permettant de calculer L au moyen de mesures purement électriques et sans aucune mesure acoustique.

Le coefficient L peut être très petit; ainsi, pour

$C = 8$ microfarads, $I = 4{,}4$ ampères, $e = 86$ volts,

on trouve

$$L = 0{,}003 \text{ henry},$$

et il est possible de mesurer des coefficients beaucoup plus faibles.

La méthode s'applique bien pour les bobines à gros fils et à faible résistance, pouvant supporter un courant de quelques ampères. Pour les bobines à fil fin, telles que les bobines de wattmètre, on pourrait modifier la méthode en mettant la bobine en dérivation sur une différence de potentiel connue, prise sur le circuit principal à grande fréquence et en mesurant l'intensité qui la traverse au moyen d'un ampèremètre suffisamment sensible.

Sur un électromètre capillaire, par **Pierre Boley**. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 463-465.

L'électromètre capillaire de M. Lippmann ne pouvant fonctionner avec les amalgames liquides saturés (qui ne sont pas assez mobiles dans les tubes très capillaires), l'auteur a été amené à construire l'électromètre capillaire représenté par la figure 1.

---

sous 2500 volts, avec câbles souterrains, un appareil disjoncteur intercalé dans le circuit principal, mal isolé, provoque une mise à la terre. Au même moment une seconde terre se produit dans une sous-station par rupture d'un isolant insuffisant.

» Immédiatement, une étincelle éclate sur l'induit de l'une des génératrices dont la masse était isolée de la terre, perce les isolants ordinaires, plus 1 mm de caoutchouc, et va chercher terre par le moteur à vapeur, en franchissant l'entrefer d'environ 10 mm du joint Raffard. Les traces de matière fondue sur ces pièces ne laissent aucun doute sur le trajet de l'étincelle.

» Bien entendu, le personnel de l'exploitation a rejeté la faute sur le constructeur de la dynamo, alors qu'il n'y avait là qu'un défaut d'isolement d'appareillage.

» 2° Dans un transport de force par courant alternatif sous 5000 volts, il arriva que la station de réception ferma le circuit sur la réceptrice sans que celle-ci fût excitée. L'homme du tableau, instantanément averti par le ronflement produit, coupa de suite le courant qu'il venait de lancer. Au même instant, un arc éclata entre les extrémités des barres du tableau distantes de 0,30 m au moins.

» 3° Dans une usine d'éclairage, on ferma le circuit sur un câble qui s'était trouvé écrasé depuis la précédente mise en charge. Même phénomène d'arc entre barres du tableau, très éloignées entre elles.

» 4° Sur un réseau aérien à 5000 volts, prolongeant une ligne souterraine, l'équipe d'entretien oublie, sur une ferrure d'isolateurs, des fils de ligature. Un vent violent étant survenu la nuit, ces fils déterminent un court-circuit, aussitôt coupé par fusion du fil. Le câble cède au même instant, et, à la recherche, on le trouve percé en deux endroits. »

[1] Voir Janet, Sur l'arc chantant, *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 111, 20 juillet 1901.

L'amalgame (ou le mercure) est contenu dans une pipette A dont le tube inférieur *t* est étiré et recourbé deux fois à angle droit. Ce tube *t* possède à son extrémité verticale *e* un diamètre intérieur voisin de 1 mm, et sa section est rodée.

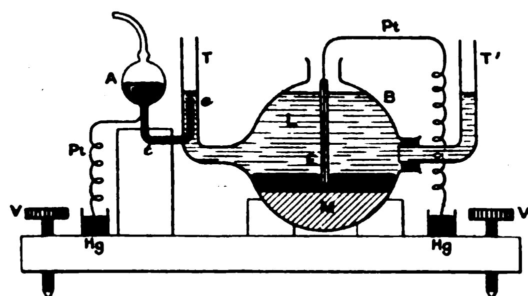


Fig. 1.

C'est là qu'on forme le ménisque, de sorte que l'électromètre peut s'appeler *électromètre à goutte libre*.

La goutte émergente est entourée de l'électrolyte L, grâce à une cuvette spéciale formée d'un ballon B à deux tubulures latérales, dont l'une T enveloppe la goutte et permet d'en viser le sommet au microscope, tandis que l'autre tube T', qui peut tourner dans son bouchon, sert à vider l'appareil. La grande électrode E est établie sur un fond de mastic M et son diamètre (12 cm) la rend pratiquement impolarisable. L'appareil se règle aisément et le ménisque doit être éclairé par une petite source lumineuse placée à proximité et un peu au-dessus, de façon à produire dans le microscope deux ou trois franges noires parallèles à l'image du sommet. On met au point pour la frange la plus voisine du ménisque, ce qui donne le maximum de netteté.

Pour mesurer des forces électromotrices, on emploie comme d'habitude, le compensateur de M. Bouty et une pile constante.

L'auteur emploie, par commodité, une pile qui ne nécessite aucune manipulation. C'est un vaste élément, genre Latimer Clark, contenu dans un vase à précipiter de section de 2 dm². Le mercure est dans le fond, surmonté du sulfate mercureux, et de l'amalgame de zinc pâteux est renfermé dans un vase étroit noyé dans le sulfate de zinc à l'état de solution saturée à la température de la salle d'expériences. La constance, parfaite sur 10^4 ohms au moins, tient à la grande surface du mercure et à la faible résistance qui facilite la dépolarisation.

L'auteur décrit ensuite quelques applications de cet électromètre [1].

---

[1] « Voici les premières données relatives à l'électromètre à goutte libre. Je l'ai d'abord employé dans les conditions ordinaires, avec du mercure pur et de l'acide sulfurique étendu au 1/5.

» 1° Dans ces conditions l'image du ménisque se déprime nettement pour une force électromotrice intercalée de $\frac{1}{3 \times 10^4}$ volt. Par exemple, avec une goutte de diamètre 1 mm, la dépression apparente est d'environ 1/8 de millimètre pour un grossissement de 100.

» 2° Pour des forces électromotrices croissantes les dépressions du ménisque obéissent à une loi d'abord très simple : jusqu'à $\frac{1}{100}$ de volt ces dépressions sont exactement proportionnelles aux forces électromotrices intercalées.

» 3° Le zéro reste absolument fixe si l'appareil est placé seul sur un support à l'abri des vibrations extérieures.

» Avec l'amalgame d'argent saturé, le seul que j'ai employé jusqu'ici, on obtient la même sensibilité et des dépressions du même ordre de grandeur qu'avec le mercure. Le ménisque d'amalgame est très mobile et son zéro reste absolument fixe.

» II. L'électromètre à goutte libre peut donc, dans les conditions habituelles, remplacer celui de M. Lippmann; il est très facile à construire, son fonctionnement est sûr, puisque la goutte est et demeure libre, et l'on peut compter sur une sensibilité de $\frac{1}{3 \times 10^4}$ volt. En effet, j'ai toujours obtenu cette sensibilité avec divers modèles où le diamètre des gouttes variait de 1/2 mm jusqu'à 2 mm. De plus, la loi de proportionnalité des dépressions aux forces électromotrices, vraie jusqu'à 1/100 de volt, permet de mesurer commodément les différences de potentiel par la méthode de zéro; on peut arrêter la compensation quand elle est obtenue à moins de 1/100 de volt, et la dépression lue indique la différence résiduelle des potentiels. On peut ainsi comparer des potentiels à $\frac{1}{3 \times 10^5}$ volt près, même avec un compensateur donnant seulement $\frac{1}{10^4}$ volt, ce qui est le cas le plus fréquent.

» Enfin la possibilité d'employer cet électromètre avec les amalgames liquides semble permettre la mesure des différences de potentiel vraies au contact de ces amalgames et de certains électrolytes par la méthode du maximum de constante capillaire; c'est le but que je poursuis et pour lequel je cherche à établir un manomètre de sensibilité correspondant à celle de l'instrument. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 22 Mars 1902 9e Année. — N° 12.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR L'ACTION DES COURANTS D'ÉCHANGE

E TRE ALTERNATEURS EN PARALLÈLES

Les différentes actions ayant influence sur la vitesse angulaire de la partie tournante d'un alternateur directement accouplé à une machine à vapeur, peuvent se grouper comme suit :

Un couple moteur C_m, un couple résistant C_r que l'on peut considérer comme constant pour les alternateurs polyphasés alimentant un réseau équilibré, un couple amortisseur C_a que nous n'envisageons pas de trop près dans cette étude, un couple C_i dû à l'inertie de la partie tournante et un couple C_s dû aux réactions électro-dynamiques produites par les écarts le phase dans le cas de plusieurs alternateurs fonctionnant en parallèle.

On a évidemment :

$$C_m = C_r + C_a + C_i + C_s$$

Supposons que

$$C_m - C_r - C_a - C_s = C_i = J\,\frac{dV}{dt},$$

dont la moyenne est nécessairement nulle, soit périodique suivant la loi sinusoïdale simple et présente k périodes par révolution de la partie tournante. Si l'on appelle Ω la vitesse angulaire moyenne et $\frac{1}{\delta}$ l'irrégularité de la vitesse instantanée pendant un tour, d'après la définition :

$$\frac{1}{\delta} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2\,\Omega}.$$

cette vitesse instantanée pourra s'exprimer par :

$$V = \Omega \left(1 + \frac{1}{\delta} \sin k \Omega t\right);$$

et l'espace angulaire Θ effectivement parcouru sera :

$$\Theta = \int V\,dt = \Omega \left(t - \frac{1}{\delta}\,\frac{1}{k\Omega} \cos k \Omega t\right).$$

Le décalage géométrique d'un rayon quelconque de la partie tournante de l'alternateur, par rapport à la position qu'il occuperait au même instant t si la vitesse avait été constamment égale à Ω, est :

$$\theta = \int (V - \Omega)\,dt = -\frac{1}{\delta k} \cos k \Omega t,$$

et le décalage de phase de la force électromotrice, en supposant que l'alternateur ait $2p$ pôles de noms alternés, est :

$$\alpha = p\,\theta = -\frac{p}{\delta k} \cos k \Omega t.$$

Supposons maintenant qu'on fasse fonctionner en parallèle deux alternateurs identiques, commandés par deux machines à vapeur identiques, et que, pendant un certain temps, il y ait opposition entre les oscillations des deux parties tournantes, de telle manière que l'écart maximum en avant (ou en arrière) de l'une d'entre elles ait lieu en même temps que l'écart maximum en arrière (ou en avant) de l'autre.

Ces conditions sont évidemment les plus désavantageuses au point de vue de l'accord actuel des forces électromotrices des deux alternateurs.

Pour simplifier nos recherches, quoique nous ne voulions nous occuper que d'alternateurs polyphasés, nous ne considérerons qu'une partie de l'enroulement induit sur chacun des alternateurs, de manière à former un seul circuit fermé au moyen des barres du tableau de distribution.

Dans le cas d'armatures enroulées en polygone, on prendra sur chaque armature un seul côté, et la force électromotrice à laquelle nous assignerons la valeur maxima ordinaire E sera la force électromotrice induite sur ce côté du polygone; dans le cas d'alternateurs enroulés en étoile, on prendra par exemple, sur chaque armature, deux rayons adjacents de l'étoile et la force électromotrice de valeur maxima E sera la force électromotrice résultant de la composition des deux forces électromotrices existant sur ces deux rayons.

Si la vitesse était uniforme, on aurait pour les deux alternateurs en synchronisme :

$$e = E \sin p\,\Omega t;$$

mais comme la vitesse V est variable autour de sa valeur moyenne Ω, l'amplitude des deux forces électromotrices varie autour de leur valeur moyenne E ; comme la masse tournante présente des oscillations pendulaires, d'amplitude θ_{max}, la phase de chacune des deux forces électromotrices subit des oscillations d'amplitude *max ;* finalement comme il se pourrait qu'aucune des k périodes de la vitesse par tour ne commence en même temps qu'une quelconque des p périodes par tour de la force électromotrice ; il faut écrire :

$$e = E \frac{V}{\Omega} \sin (p\,\Omega t + \alpha + \varepsilon).$$

où z serait la phase atteinte par la force électromotrice e au moment où la vitesse V passe par sa valeur moyenne Ω. La valeur de z dépend, comme il est facile de comprendre, de la distribution circonférencielle relative des pôles inducteurs et des points morts, par exemple, des manivelles par rapport à l'emplacement des bobines induites. Cette valeur varie évidemment d'une phase à l'autre d'un angle $\frac{2\pi}{n}$, si n est le nombre des phases produites.

Plus particulièrement, on pourra écrire pour les deux alternateurs séparément :

$$e' = E\left(1 + \frac{1}{\delta}\sin k\,\Omega\,t\right)\sin\left(p\,\Omega\,t - \frac{p}{\delta k}\cos k\,\Omega\,t + z\right),$$

$$e'' = E\left(1 - \frac{1}{\delta}\sin \Omega\,k\,t\right)\sin\left(p\,\Omega\,t + \frac{p}{\delta k}\cos k\,\Omega\,t + z\right).$$

L'angle d'écart $\alpha = \mp \frac{p}{dk}\cos k\,\Omega\,t$ est ordinairement assez petit pour que l'on puisse faire $\cos\alpha = 1$ et $\sin\alpha = \alpha$.

On peut donc écrire :

$$\sin(p\,\Omega\,t + \alpha + z) = \sin(p\,\Omega\,t + z) \pm \cos(p\,\Omega\,t + z).\frac{p}{\delta k}\cos k\,\Omega\,t$$

et en développant, on trouve

$$e' = e_s + \frac{1}{2}e_c \qquad\qquad e'' = e_s - \frac{1}{2}e_c$$

où :

$$e_s = E\left\{\sin(p\Omega t + z) - \frac{1}{\delta^2}\frac{p}{k}\cos(p\,\Omega\,t + z).\sin k\,\Omega t.\cos k\,\Omega t\right\}$$

$$= E\left\{\sin(p\Omega t + z) + \frac{1}{4\delta^2}\frac{p}{k}\Big[\sin[(p - 2k)\,\Omega\,t + z] - \sin[(p + 2k)\,\Omega\,t + z]\Big]\right\},$$

et :

$$\frac{1}{2}e_c = \frac{E}{\delta}\left\{\sin(p\,\Omega\,t + z)\sin k\,\Omega\,t - \frac{p}{k}\cos(p\,\Omega t + z)\cos k\,\Omega\,t\right\}$$

$$= \frac{-E}{2\,\delta\,k}\Big\{(p - k)\cos[(p - k)\,\Omega\,t + z] + (p + k)\cos[(p + k)\,\Omega\,t + z]\Big\}.$$

Comme $e''' = e' - e'' = e_c$, on voit que la seconde composante, au signe variable, est celle qui produit le courant de circulation dans les deux armatures.

Si l'on néglige la résistance ohmique de celles-ci par rapport à leur réactance, on peut dire que, λ étant l'impédance de chacune des armatures pour la fréquence $\frac{p\Omega}{2\pi}$ de la force électromotrice fondamentale, leur impédance individuelle pour les fréquences $\frac{(p-k)\Omega}{2\pi}$ et $\frac{(p+k)\Omega}{2\pi}$ des composantes de e_c sera respectivement $\frac{(p-k)\lambda}{p}$ et $\frac{(p+k)\lambda}{p}$ et leur impédance totale sera le double.

En posant :

$$\varphi_1 = \text{arc } tg\,\frac{2\,(p - k)\,\lambda}{p\,.\,2r}$$

et

$$\varphi_2 = \text{arc } tg\,\frac{2\,(p + k)\,\lambda}{p\,.\,2r},$$

on pourra mettre l'expression du courant de circulation sous la forme

$$i_c = \frac{-E\,p}{2\,\delta\,k\,\lambda}\Big\{\cos[(p - k)\,\Omega\,t + z - \varphi_1] + \cos[(p + k)\,\Omega\,t + z - \varphi_2]\Big\}.$$

La valeur efficace du courant de circulation est donc :

$$\left(i_c\right)_{eff} = \frac{E p}{2 \delta k \lambda}.$$

Il est facile de voir que le produit $(\pm \frac{1}{2} e_c).(\pm i_c)$ donne la puissance dépensée en effet Joule dans chacune des armatures. Les deux facteurs n'ont que des composantes de même fréquence ; leur produit moyen a la valeur

$$r\left(\frac{E p}{2 \delta k \lambda}\right)^2 = r\left(i_c\right)^2_{eff}$$

Quant au produit $e_s(\pm i_c)$, dont les deux facteurs n'ont pas de composante de même fréquence, sa valeur moyenne est nulle. Mais la valeur instantanée est égale et de signe contraire dans les deux armatures. A l'instante t, dans l'armature où elle est $>$ o, c'est une puissance électrique engendrée et correspond à une réaction *résistante ;* dans l'armature où elle est $<$o, c'est une puissance électrique absorbée et correspond à une réaction *motrice.* Nous allons étudier de plus près cette réaction.

Par un calcul plus long que malaisé, on trouve :

$$e_s(\mp i_c) = \frac{\mp E^2 p}{2 \delta k \lambda} \left\{ \cos k \Omega t + \frac{r p k}{\lambda (p^2 - k^2)} \left[1 - \left(\frac{p}{2 \delta k}\right) \right] \sin k \Omega t \right.$$
$$\left. - \frac{r p k}{\lambda (p^2 - k^2)} \left(\frac{p}{2 \delta k}\right)^2 \sin 3 k \Omega t + \frac{1}{2} X_1 + \frac{p}{8 \delta^2 k} X_3 \right\}.$$

où :

$$X_1 = A_1 \sin[(2p - k)\Omega t + 2\alpha - \varphi'_1] + B_1 \sin[(2p + k)\Omega t + 2\alpha - \varphi'_2],$$

et :

$$X_3 = A_3 \sin[(2p - 3k)\Omega t + 2\alpha - \varphi_1] + B_3 \sin[(2p + 3k)\Omega t + 2\alpha - \varphi_2],$$

A_1, B_1, A_3, B_3 étant des coefficients qu'il est inutile de reporter ici, et φ_1' et φ_2' des angles très voisins de φ_1 et de φ_2 respectivement.

Si l'on considère simultanément la réaction des courants qui circulent dans les n phases de chaque alternateur, on voit que ces derniers termes n'ont pas d'importance, parce que 2α variant d'un circuit à l'autre de l'angle $\frac{4\pi}{n}$, les sommes des termes comme X_1 et X_3 sont nulles.

La réaction globale des n circuits ne comprend donc que des puissances, et partant des couples, de fréquence $\frac{k\Omega}{2\pi}$ et $\frac{3k\Omega}{2\pi}$, et encore ce dernier a bien peu d'importance par rapport au premier.

La puissance réagissante globale peut même recevoir l'expression simple suivante :

$$W_s = \mp \frac{n E^2 p}{2 \delta k \lambda} \left(\cos k \Omega t + \frac{r p k}{\lambda (p^2 - k^2)} \sin k \Omega t\right) = \mp \frac{n E^2 p}{2 \delta k \lambda} \frac{\sqrt{(rpk)^2 + \lambda^2 (p^2 - k^2)^2}}{\lambda (p^2 - k^2)} \sin (k \Omega t + \varphi),$$

où :

$$\varphi = \text{arc tg} \frac{\lambda (p^2 - k^2)}{r p k}$$

très voisin de $\frac{\pi}{2}$.

Ceci fait que l'on peut écrire par approximation :

$$W_s = \mp \frac{n E^2}{2 \lambda} \frac{p}{\delta k} \cos k \Omega t - \frac{n E^2}{2 \lambda}$$

à la condition que les hypothèses faites jusqu'ici soient vérifiées.

Remarquons que :

$$\frac{n\,E^2}{2\,\lambda} = n\,E_{eff}\,\frac{E_{eff}}{\lambda} = n\,E_{eff}\,I_{cc}.$$

En appelant m le rapport entre le courant de court-circuit I_{cc} et le courant normal I_n, et P_n la puissance normale, sous l'hypothèse que la réactance de l'armature soit en tout cas égale à λ, on peut encore écrire :

$$\frac{n\,E^2}{2\,\lambda} = m\,.\,n\,E_{eff}\,I_n = m\,P_n.$$

Les deux couples dus aux réactions électrodynamiques pourront alors s'exprimer comme suit :

$$C_s = \frac{W_s}{\Omega} = \mp\frac{n\,E^2}{2\,\lambda}\,\frac{p}{\delta\,k}\,\frac{1}{\Omega}\cos k\,\Omega\,t = \frac{m\,P_n\,\alpha}{\Omega} = m C_r\,.\,\alpha$$

Considérons maintenant les couples dus à l'inertie des deux volants. On a, toujours simultanément pour les deux alternateurs :

$$e_i = J\,\frac{d\,V}{d\,t} = \pm\,\frac{J\,\Omega^2\,k}{\delta}\cos k\,\Omega\,t = -\,\frac{J\,\Omega^2\,k^2}{p}\,.\,\alpha$$

A l'instant t, dans la partie tournante où cette valeur est $>$o, il s'agit d'un couple *résistant* ; dans la partie tournante où elle est $<$o, il s'agit d'un couple *moteur*.

On voit distinctement, par le signe des résultats, que *les réactions électro-dynamiques s'opposent aux actions des volants*.

En revenant à la relation entre les couples, on pourra écrire :

$$C_m - C_r - C_a = \pm\,\frac{1}{\delta}\left(J\,\Omega^2\,k - \frac{n\,E^2}{2\lambda}\,\frac{p}{k\Omega}\right)\cos k\,\Omega\,t = \pm\,\frac{k}{\delta}\,(J - J_s)\,\Omega^2.\,\cos k\,\Omega\,t,$$

à la condition de faire :

$$J_s = \frac{n\,E^2}{2\,\lambda}\,\frac{p}{k\Omega}\,\frac{1}{k\,\Omega^2} = \frac{m\,p}{k}\,.\,\frac{P_n}{k\,\Omega^3}\,.\text{—}$$

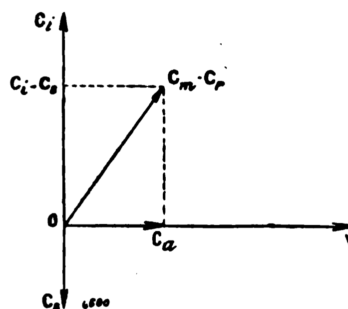


Fig. 1.

A ce point, plaçons une parenthèse.

Si l'on suppose avoir :

$$C'_m = C_r\left(1 + \frac{1}{\varepsilon}\cos k\,\Omega\,t\right)$$

où C'_m est la résultante du couple moteur avec le couple amortisseur et avec celui de réaction, s'il y a lieu, et $\frac{1}{\varepsilon}$ est l'irrégularité de ce couple composé, définie de la même manière que l'irrégularité de la vitesse, on a :

$$C_i = J\,\frac{dV}{dt} = \frac{C_r}{\varepsilon}\cos k\,\Omega\,t$$

d'où l'on tire :

$$V = \Omega + \frac{C_r}{\varepsilon\,k\,\Omega\,J}\sin k\,\Omega\,t$$

On en déduit d'abord :

$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{\varepsilon\,k}\,\frac{C_r}{J\,\Omega^2} = \frac{1}{\varepsilon\,k}\left(\frac{T}{\tau}\right)^2$$

où $T = \frac{2\pi}{\Omega}$ est la durée d'une révolution de la partie tournante, et $\tau = 2\pi\sqrt{\frac{J}{C_r}}$ est la durée d'une oscillation complète de cette même partie supposée soumise à un couple d'amplitude C_r ; et ensuite

$$J = \frac{\delta}{\varepsilon} \cdot \frac{P_n}{k\,\Omega^3}$$

ce qui démontre que le moment d'inertie du volant peut être mis sous une forme analogue à celle de J_s. Fermons la parenthèse.

Comme conséquence de ce qui précède, on voit que si l'on veut qu'un alternateur présente, pendant la marche en parallèle, avec un autre alternateur semblable, une régularité de marche égale à celle qu'il aurait s'il marchait seul avec un volant ayant un moment d'inertie J, il faut le pourvoir d'un volant de moment d'inertie $J + J_s$ où ce moment d'inertie *supplémentaire* peut être calculé par la formule :

$$J_s = \frac{2\pi f m P_n}{k^2 \Omega^4}$$

où $f = \frac{p\Omega}{2\pi}$ est la fréquence de la force électromotrice.

Remarquons d'abord que ce moment d'inertie supplémentaire ne dépend aucunement de l'irrégularité de la vitesse.

Il est facile, en outre, de se rendre compte, par cette formule, de l'importance de la fréquence, de la valeur de la réaction d'armature, et surtout de la vitesse angulaire sur l'action des courants de circulation ou d'échange.

Ordinairement, à la place du moment d'inertie $\mu R^2 =$ (masse) $\times$ (rayon de gyration), on considère le produit $GD^2 =$ (poids) $\times$ (diamètre de gyration), qui est $4 \times 9{,}81$ fois plus grand.

Si l'on exprime la puissance en kilowatts plutôt qu'en kilogrammes par seconde ($P_n = 102\,W$) et la vitesse en tours par minute ($\Omega = \frac{2\pi N}{60}$), on peut écrire :

$$(G\,D^2)_s = 4 \times 9.81 \frac{2\pi f m . 102\,W}{k^2 \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^4} = 21 . 10^7 \frac{f m W}{k^2 N^4}$$

Analoguement, on obtient encore :

$$(G\,D^2) = 4 \times 9.81 \frac{\delta . 102\,W}{\varepsilon k \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^3} = 35 . 10^5 \frac{\delta W}{\varepsilon k N^4}$$

Nous pensons qu'il sera toujours suffisant, pour la pratique, de se rapporter au diagramme du couple moteur C_m de la machine à vapeur, de confondre C_m avec C_r et d'adopter $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{max} + C_{min}}$ et pour k le rapport entre le développement d'un tour sur ce diagramme et le double de la distance maxima présentée par ce diagramme, entre un maximum et un minimum successifs.

Dans le cas, par exemple, d'une machine compound jumellée, à 94 tours, pour laquelle $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{45}{100}$ et $k = 3$, commandant un alternateur de 1 000 kilowatts, à 50 périodes, pour lequel $m = 3$, si l'on se fixe $\frac{1}{\delta} = \frac{1}{700}$, on trouve :

$$(G\,D^2)_s = 21 . 10^7 \times 2{,}14 . 10^{-4} = 45\,000 \text{ kgm}^2$$
$$(G\,D^2) = 35 . 10^5 \times 126 . 10^{-3} = 440\,000 \text{ kgm}^2$$

Quant à l'écart de phase maximum, on pourra le mettre sous la forme

$$\alpha_{max} = \frac{p}{\delta k} = \frac{p}{\varepsilon k^2} \frac{C_r}{J \Omega^2},$$

dans le cas d'alternateur isolé, et sous la forme

$$\alpha_{max} = \frac{p}{\varepsilon k^2} \frac{C_r}{(J - J_s)\Omega^2}$$

dans le cas d'alternateur accouplé. Mais il ne faut pas perdre de vue que tout ce qui précède se rapporte au cas hypothétique où les variations des différentes quantités suivent la loi harmonique. Les choses sont toujours beaucoup plus compliquées, et si l'on n'exagère pas dans les valeurs de $\frac{1}{\varepsilon}$ et de $\frac{1}{k}$ en procédant par exemple comme il a été indiqué plus haut, il faut supposer :

$$\frac{1}{\varepsilon} : \frac{1}{\delta} : \alpha_{max} = \frac{1}{C_r} : \frac{a}{k . J \Omega^2} : \frac{a b . p}{k^2 J \Omega^2}$$

où a et b dépendent de la nature de la machine à vapeur et satisfont toujours à la relation $a > b > 1$. —

Quelques-uns de ces résultats, avec plusieurs autres très intéressants, se retrouvent dans une communication de M. Boucherot à la Société Internationale des Electriciens (1).

Dr A. Della Riccia.
(Bruxelles).

LE MOTEUR D'INDUCTION ASYNCHRONE SANS DÉPHASAGE

Les différentes publications dans cette revue et les demandes qui m'ont été adressées au sujet de ma description du moteur asynchrone sans déphasage (voir *L'Éclairage Électrique* du 26 octobre 1901) m'ont conduit à établir un résumé des travaux qui poursuivirent un but analogue : la suppression du décalage des phases de moteurs asynchrones en général. Il sera peut-être d'un intérêt pour les lecteurs de connaître les résultats auxquels j'ai été amené.

Les réflexions et considérations qui suivront, font abstraction de méthodes, desquelles il a été question antérieurement et qui se basent sur l'emploi de moteurs auxiliaires ou de condensateurs.

La première communication relative à un moteur asynchrone, avec lequel il fut observé une égalité de phases entre le courant et la force électromotrice, lorsque certaines conditions de marche se trouvaient remplies, est contenue dans une conférence de M. Görges au *Congrès International d'Electriciens* de Francfort (voir *Elektrot. Zeitschrift* du 25 décembre 1901, p. 701). Le moteur en question, quoique asynchrone, n'appartenait toutefois pas au type de moteurs d'induction, dont il doit s'agir ici ; il était, au contraire, un moteur de conduction, du genre des moteurs à collecteur, qui, comme on le sait, n'ont jamais trouvé une application bien fréquente, par suite de différents défauts, qui leur sont typiques, notamment les étincelles aux balais, les pulsations du champ, etc.

Les moteurs, sur lesquels M. Görges avait fait ses expériences étaient identiques aux moteurs à collecteur, comme on les emploie, pour les réseaux monophasés, afin de mettre à profit leur uni-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 287, 22 février 1902.

que avantage : le couple énergique de démarrage. La seule différence consiste en ce que les moteurs de M. Görges possédaient des enroulements pour du triphasé, qui pouvait être communiqué, au moyen de trois balais, à l'induit, dont la construction était celle d'un induit ordinaire à courant continu avec collecteur. Les expériences démontrèrent donc, avant tout, les propriétés qu'on a l'occasion d'observer avec les moteurs monophasés à collecteur.

Or M. Görges fit l'observation que lorsqu'un moteur, de la construction sus-mentionnée, tourne dans la direction de son champ tournant, il existe une vitesse, à laquelle le décalage des phases entre le courant et la force électromotrice devient zéro. Ce phénomène est facile à expliquer. A une certaine vitesse, le synchronisme, la direction résultante des courants dans l'induit conserve le même sens et l'impédance du circuit, qui est en rapport avec les alternances, devient zéro.

La conséquence en est que les courants de l'induit deviennent, à ce moment, des courants purement wattés, et il y a alors moyen de fixer l'emplacement des balais de telle façon, que les courants de l'induit engendrent le champ et compensent de la sorte les courants déwattés de magnétisation du stator.

La théorie en a été traitée tout récemment d'une manière plus détaillée par M. Latour (voir *L'Éclairage Électrique* du 23 novembre 1901) qui a suivi la même voie que M. Görges, sans connaître cependant les publications de celui-ci. Dans cet article M. Latour confond le phénomène décrit avec mon moteur. C'était une erreur. En effet, son moteur est un moteur de conduction, genre Görges, et est nullement comparable au moteur d'induction, sujet de mes publications. Quoiqu'il existe de certaines ressemblances extérieures dans le mode d'exécution, les phénomènes et résultats des deux genres de moteurs sont absolument différents. Je rappelle seulement l'enroulement fermé de l'induit, signe typique du moteur d'induction, qui est capable de tourner sans prises de courant au rotor.

Il est évident que le phénomène trouvé par M. Görges est surtout d'intérêt théorique Au point de vue pratique il est autrement, ce qui se comprend d'ailleurs aisément, lorsqu'on considère, que le genre de moteurs en question doit forcément partager les défauts des moteurs monophasés de conduction ou moteurs à collecteur. M. Görges lui-même n'a jamais donné de suite pratique à sa découverte, vraisemblablement pour les raisons que je viens d'exposer.

Un moteur qui se rapproche davantage de ma construction, est celui auquel M. Blondel fait allusion dans sa conférence au *Congrès International d'Electriciens* à Genève (voir *L'Éclairage Électrique* du 29 août 1886, p. 400) et qu'il nomme : « Moteur d'induction excité par d'autres courants que ceux du réseau ». Ce moteur est, en effet, un moteur d'induction, à enroulement fermé de l'induit. Il porte, en outre, un enroulement à courant continu avec collecteur et est excité par le courant continu, qui lui est communiqué par deux balais rotatifs, dont la vitesse est égale à celle du champ. Le moteur fonctionne d'une façon parfaite. Toutefois par le fait, qu'il nécessite un petit moteur synchrone pour le mouvement des balais et une source à courant continu, une excitatrice, peut-être, il possède un mécanisme trop compliqué pour avoir pu s'introduire dans la pratique.

Le moteur d'induction de mon type, enfin, se distingue extérieurement des constructions que je viens de mentionner, par ce qu'il possède un enroulement de l'induit fermé sur lui-même contrairement aux indications de M. Görges (Latour) et que son excitation se fait avec du courant alternatif, contrairement à l'arrangement de M. Blondel.

Il est caractérisé par l'arrangement typique d'un anneau fermant le bobinage et en même temps devant servir de prise de courant pour le courant alternatif, lequel y est transformé en courant continu. La conséquence en est que le courant alternatif amené par les balais sert essentiellement à la magnétisation du champ, de telle sorte, qu'il devient pratiquement sans pulsations et produit un champ constant, et que le moteur conserve en outre le caractère de moteur d'induction.

Mon brevet français du 11 juillet 1901, exprime ces propriétés textuellement comme suit :

« L'invention produit des moteurs d'induction avec enroulements d'armature fermés sur eux-

mêmes, mais caractérisés par cette propriété, qu'on peut en outre amener ou enlever des courants à l'armature de court-circuit, au moyen de balais. On peut relier les balais à l'enroulement de la partie fixe (stator) et produire dans la partie mobile (rotor) un champ, dont la fréquence est transformée par le commutateur, conformément à la vitesse de l'armature et ce, naturellement, toujours dans le rapport du glissement. Ce champ tourne, par conséquent, d'une manière absolument synchrone avec le champ de la partie fixe (stator). Comme la fréquence du champ de la partie mobile (motor) est très petite (égale au glissement), la force électromotrice sera également très petite dans la partie mobile (rotor) ainsi que la tension nécessaire aux balais et on peut, à volonté, renforcer le champ de la partie mobile au moyen d'une faible augmentation de la tension aux balais, de manière à équilibrer finalement le champ de la partie fixe et le courant de magnétisation déwatté de la partie fixe. Un tel moteur devient alors parfaitement self-excitateur, il peut être branché du réseau et commandé mécaniquement, et il est capable de débiter du courant comme générateur. »

Le phénomène peut être expliqué théoriquement de la façon suivante :

La figure 1 représente l'induit de court-circuit d'un moteur d'induction.

A est son enroulement uniforme, fermé sur lui-même, en différents endroits, toutefois non directement, mais au moyen d'un anneau B. Ensuite, il y a deux ou plusieurs balais qui reçoivent du courant mono ou polyphasé de la fréquence de celui du réseau. La figure en contient deux, *bb*, qui frottent sur l'anneau de court-circuit B et doivent être raccordés aux enroulements du stator. N, enfin, est la position momentanée du champ tournant à un moment donné. Dans ces conditions, des courants seront engendrés dans le rotor, par le champ tournant, courants qui prendront les directions indiquées par les flèches de la figure 1, ils seront perpendiculaires à la direction du champ et transporteront le moment de rotation, l'action du champ tournant. Par contre, ces courants ne produisent ni magnétisation, ni démagnétisation et sont exactement compensés par les courants de travail ou wattés du stator.

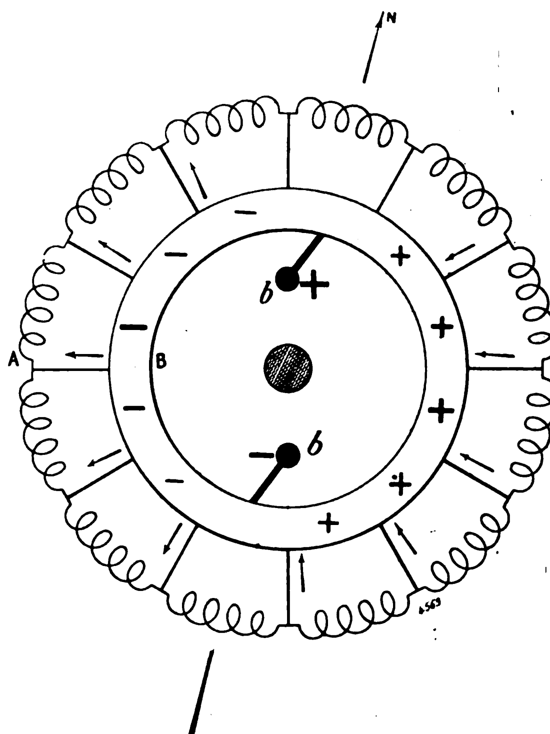


Fig. 1.

Lorsque, toutefois, la direction des courants est déplacée, dans le sens de la magnétisation, par rapport au champ, il est aussi possible de faire engendrer le champ par l'induit. Un moyen théorique bien connu pour produire un pareil déplacement, consiste en ce que des condensateurs sont intercalés dans les circuits de l'induit, et qui aurait comme conséquence une avance de phase des courants de l'induit. Ce moyen n'a cependant qu'un intérêt théorique. L'influence des balais *bb* peut être présentée d'une façon presque analogue à l'emploi de condensateurs.

Le parcours du courant dans l'induit s'explique, d'une part, par les flèches de la figure 1, mais peut aussi être déterminé par la chute de potentiel, qu'il produit dans l'anneau B. Ce potentiel se partagera symétriquement des deux côtés des balais et doit être positif sur un côté, négatif sur l'autre (voir fig. 1). Si maintenant la résistance de l'anneau B n'est pas négligeable, mais d'une certaine grandeur, la chute de potentiel répond approximativement à la force électromotrice des courants même de l'induit. Inversement on pourrait obtenir par la production artificielle de la chute de potentiel, un parcours analogue du courant dans l'induit et il suffirait, enfin, de déplacer la distribution du potentiel d'une façon quelconque, ou bien de provoquer un

***

dérangement de symétrie dans la direction du champ, pour déplacer de même la direction des courants de l'induit et pour lui communiquer des courants de magnétisation.

L'arrangement le plus primitif, qui suffit parfaitement pour la démonstration de cette théorie et qui a eté appliqué aux premiers moteurs d'essais, est celui représenté par la figure 1 : deux balais, reliés au stator, reçoivent par là un courant alternatif simple, qui change sa direction exactement avec le nombre de périodes du champ, de telle sorte que la dissymétrie se produit toujours dans la direction du champ. Les balais doivent alors être fixés de façon à ce qu'ils aient leur maximum de force électromotrice dans la position de la figure, où ils se trouvent dans la direction du champ. La dissymétrie qu'on obtient est oscillatoire. Dans la position dessinée, elle

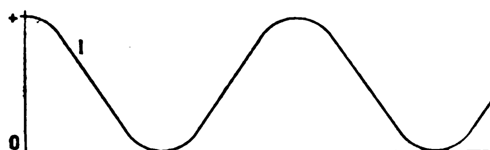


Fig. 2.

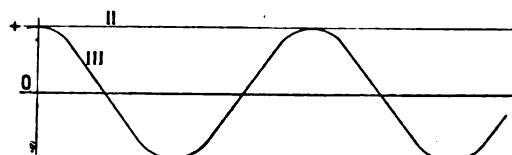


Fig. 3.

est un maximum, un quart de période; plus tard, lorsque le champ est perpendiculaire à la position des balais, elle devient zéro; après une demi-période, elle est de nouveau un maximum et ainsi de suite. Elle agit cependant toujours dans la même direction, et, dans l'enroulement même, elle se fait valoir comme si elle était presque constante, donc, d'une façon analogue que si les balais partaient du courant continu et tournaient à une vitesse synchrone au champ, à l'instar de l'arrangement de M. Blondel. Les pulsations de la force électromotrice n'empêchent pas les courants de magnétisation dans l'induit de rester pratiquement constants. En effet, si l'on considère deux points diamétralement opposés de l'anneau, par exemple ceux qui se trouvent dans la direction du champ (dans la figure, ils sont au moment précisément couverts par les balais), le potentiel de l'un d'entre eux peut être présenté par une ligne ondulée (fig. 2) dont les variations sont déterminées par zéro, d'une part, et un maximum, d'autre part. Dans un autre ordre d'idées, les circuits de l'induit peuvent être subdivisés en circuits d'une partie inductive *a*, qui est l'enroulement, et en circuits d'une branche non inductive *b*, de même résistance ohmique, qui est l'anneau (fig. 4). Le courant, qui correspond à la courbe I, se partagerait donc en deux parties (fig. 3). La partie II est un courant continu déterminé par la tension moyenne et prendrait son chemin par l'enroulement *a*, tandis que le reste III, qui conserve plus ou moins son caractère de courant alternatif, circulerait dans l'anneau B.

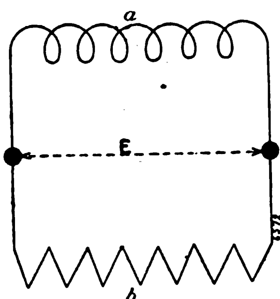


Fig. 4.

Lorsque les deux balais sont remplacés par trois ou plusieurs, alimentés par des courants polyphasés, les considérations que je viens de développer ne changent nullement en principe. Le potentiel reste oscillatoire, ne tombe cependant plus à zéro (fig. 5), de sorte que sa moyenne est plus élevée et que l'intensité du courant, communiqué à l'enroulement, augmente relativement.

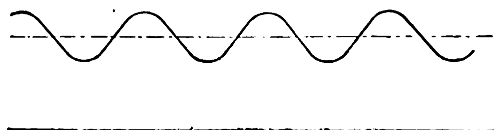


Fig. 5.

On obtient donc par mon procédé une excitation constante du champ dans l'induit, excitation pratiquement, absolument équivalente à celle qu'on obtiendrait en communiquant du courant continu à l'induit par deux balais; et ce, en employant uniquement des courants alternatifs mono ou polyphasés, grâce à la parfaite compensation de l'anneau de court-circuit et en conservant, en même temps au moteur par cet anneau, toutes les propriétés caractéristiques des moteurs d'induction.

Il est intéressant de pouvoir constater que, depuis les publications de MM. Görges (1891) et Blondel (1896), qui se rapprochent le plus de mon invention, on n'a pas trouvé cette solution simple, d'introduire des courants alternatifs excitateurs dans l'induit des moteurs d'induction. Mais c'est cela qui démontre, une fois de plus, combien même les progrès les plus simples ont besoin de temps pour leur développement.

L'importance pratique du changement, qui fait l'objet de mon innovation, est le mieux illustrée, par le fait que, à l'heure présente, c'est-à-dire six mois après la première publication, la construction a été adoptée par la plupart des grandes maisons européennes.

ALEXANDRE HEYLAND.

ÉTUDE SUR L'EXPLOITATION DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES [1]

CALCUL DES FRAIS D'EXPLOITATION ET RECETTES

Le système communément employé consiste à évaluer toutes les dépenses, de quelque nature qu'elles soient, en fonction du kilomètre-voiture. On dira, par exemple, que les émoluments des administrateurs ou directeurs représentent tant de centimes par kilomètre-voiture, bien qu'il n'existe aucune relation entre ces deux éléments. Ce mode de calcul, entre autres inconvénients, présente celui d'être absolument inintelligible à tous les gens qui ne sont pas du métier. Ajoutons que, pour arriver à des résultats exacts, il faut multiplier tous ces centimes par le nombre de kilomètres parcourus par les voitures, dans une période déterminée, jour, mois, année.

Il semble plus rationnel et plus clair de procéder comme on le fait pour la comptabilité des journaux, c'est-à-dire de distinguer les frais d'exploitation d'une ligne de tramways en deux catégories : les frais qui dépendent directement du nombre de kilomètres parcourus, qu'on peut appeler les *frais proportionnels*, et les frais qui ne dépendent en aucune manière des kilomètres parcourus, ou *frais fixes*.

On prend pour unité la *voiture-jour*, ce que dépense chaque voiture *par jour* pour circuler suivant l'horaire prescrit.

Dans une exploitation normale, les frais proportionnels doivent être inférieurs aux recettes journalières par voiture. En multipliant l'excédent par le nombre des voitures, on obtient une somme qui sert à couvrir les frais généraux, à rémunérer et amortir le capital.

Si donc on désigne par R_j la recette journalière par voiture, par F_p les frais proportionnels par jour et par voiture, par V le nombre des voitures, par F_f les frais fixes, par I et A l'intérêt et l'amortissement annuel du capital, par B le bénéfice annuel, on a

$$V(R_j - F_p) \times 365 = F_f + I + A + B.$$

ou

$$V(R_j - F_p) = \frac{1}{365} F_f + I + A + B. \qquad (1)$$

Nous allons étudier et définir successivement les différents termes qui entrent dans cette formule.

I. Frais proportionnels par jour et par voiture. — Ces frais se composent :

1° De l'énergie nécessaire pour le mouvement de la voiture, C ;

2° Du traitement des receveurs et wattmann, rw ;

3° De l'entretien du matériel roulant, E_n ;

[1] Voir *Éclairage Électrique*, du 7 décembre 1901, t. XXIX, p. 351.

4° Des menus frais, lavage, éclairage, graissage, etc., l;
5° De la part contributive de la voiture dans les frais d'entretien et de réparation de la voie, i.

$$F_p = C + rw + E_n + l + i.$$

1° *Dépense d'énergie.* — D'après un travail précédent, le nombre de kilowatts dépensés par heure par une voiture de poids P, à la vitesse moyenne de 3 m par seconde est donnée par la formule $P \times 0{,}0006$ à la voiture et, en comptant — ce qui est peut-être beaucoup — 25 p. 100 de perte de l'usine au moteur — $P \times 0{,}0008$.

En multipliant le résultat obtenu par la durée du trajet exprimée en heures, on a la dépense par course ; enfin en multipliant ce dernier chiffre par le nombre de courses, et par le prix du kilowat-heure, on a la dépense d'énergie par jour et par voiture :

$$C = P \times 0{,}0008 \times p \frac{L}{V} n \quad (2)$$

où p représente le prix du kilowatt-heure, L la longueur du trajet, V la vitesse en km : h, n le nombre de courses imposé par l'horaire.

Pour avoir le prix du kilowatt-heure, nous allons d'abord tenter d'en établir le prix de revient pour une compagnie qui, ayant une usine et des sous-stations à elle, se préoccuperait de pourvoir *exclusivement* aux besoins de sa propre exploitation. Ce prix, augmenté de l'intérêt du capital engagé dans l'usine, les sous-stations, les câbles, et d'un bénéfice légitime, représente le prix normal, *courant*, du kilowatt-heure, celui vers lequel doit tendre le prix du kilowatt-heure fourni par une usine de production distribuant l'énergie électrique à de nombreux clients entre lesquels sont réparties les charges de l'intérêt, de l'amortissement et du bénéfice.

a. Le cheval-heure représente les trois quarts du kilowatt-heure; celui-ci représente donc les quatre tiers du cheval-heure.

Grâce aux perfectionnements les plus récents, il ne faut plus, dans les machines à vapeur, qu'un kilogramme de charbon par heure et par cheval. Si p_{ch} est le prix du kilogramme de charbon, la dépense en charbon sera pour un kilowatt-heure de $1{,}33\, p_{ch}$. Mais il faut compter de la machine à vapeur à l'alternateur, de l'alternateur à la commutatrice, de la commutatrice aux feeders à basse tension, et de ceux-ci au moteur de la voiture, des pertes respectivement égales à environ 10 p. 100. Pour avoir un kilowatt-heure au moteur de la voiture, il faut donc augmenter d'environ 40 p. 100 le charbon de la machine à vapeur, ce qui donne $1{,}86\, p_{ch}$ pour la dépense en charbon cherchée.

b. En désignant par K le nombre total des kilowatt-heures produits et vendus annuellement par l'usine, par F les frais d'administration de l'usine, les graisses, huiles, etc., le prix de chaque kilowatt-heure doit être grevé de $\frac{F}{K}$

c. Enfin, ce prix doit être grevé encore d'une somme représentant l'intérêt et l'amortissement du prix d'établissement de l'usine. A quel taux doit-on compter cet intérêt et cet amortissement ?

Pour l'amortissement, la détermination de ce taux n'offre pas de difficultés. En effet, il dépend de la nature et de la durée du capital à amortir. Supposons, par exemple, qu'une voiture doive durer vingt ans, il faut chaque année mettre en réserve $\frac{1}{20}$ ou 0,05 du prix d'achat, soit pour compenser annuellement le déchet, soit pour pouvoir racheter une voiture neuve, au moment où les réparations deviendraient impossibles. Des différentes parties qui composent le capital engagé dans une usine, les unes s'usent en moins de vingt ans, les autres (câbles) ont une durée beaucoup plus longue. Il faudrait établir le taux de l'amortissement pour chacune de ces catégories et prendre la moyenne. Il semble qu'on puisse admettre le taux de 5 p. 100, dans les circonstances normales.

Pour l'intérêt — je dis l'intérêt, non compris le bénéfice — le taux de 5 p. 100 est trop élevé. En effet, d'abord le taux normal de l'intérêt n'est plus de 5 p. 100, mais de 3 p. 100, lorsque les

risques de perte sont faibles, comme, par exemple, pour la Rente française. Pour les Consolidés anglais, l'intérêt n'est même que de 2,6 p. 100. Or, par l'hypothèse de l'amortissement, le capital engagé demeure intact. Si l'on retranche de l'intérêt la prime contre le risque de perte, il ne reste plus à prélever que le loyer de ce capital, rémunérant le service rendu. Le taux de 3 p. 100 est donc largement suffisant.

En admettant le cas général, c'est-à-dire des concessions d'une durée de trente ans, la formule qui donne le prix p du kilowatt-heure est la suivante :

$$p = 1{,}86 p_{ch} + \frac{F}{K} + U.\left(0{,}03 + \frac{1{,}05}{(1{,}05)^{30} - 1}\right) = 1{,}86\, p_{ch} + \frac{F}{K} + \frac{U \times 0{,}045}{K}$$

où U représente le capital engagé dans la construction de l'usine.

Le *prix de revient* du kilowatt-heure suit donc les variations du prix du charbon. Pour une usine de grande production, le second terme $\frac{F}{K}$ exerce une très faible influence. Quant au troisième terme $\frac{0{,}045\, U}{K}$, il joue un rôle très important, mais, au point de vue industriel, commercial, il y a une remarque essentielle à faire. Il faut que l'usine soit construite en vue des besoins *actuels* et *futurs* de l'exploitation, mais il est indispensable ou de se résigner à une perte sur l'intérêt et l'amortissement, tant que le développement normal n'est pas atteint; ou, ce qui vaut mieux, de procéder graduellement, de façon que le prix courant, commercial, du kilowatt-heure ne soit pas grevé d'une façon excessive. Si l'on veut faire payer l'intérêt et l'amortissement d'une usine apte à produire annuellement 6 000 000 kilowatts-heure, quand elle n'en produit que la moitié, ou l'on ne trouvera pas de clients, ou ceux qui seraient obligés, pour une raison quelconque, de s'alimenter à cette usine seront surchargés outre mesure. Il semble rationnel d'organiser un premier groupe d'alternateurs, de commutatrices, etc.,correspondant à la consommation *actuelle*, et de *préparer* l'organisation rapide de groupes similaires qui entreront en jeu, à chaque nouvelle étape de la consommation *actuelle* à la consommation *future*.

En résumant en langage ordinaire la formule (2), on peut dire que :

La dépense en courant est proportionnelle au poids de la voiture, à la longueur du trajet, au nombre de courses imposé par l'horaire; elle augmente quand le prix du charbon s'accroît, et diminue quand la consommation totale des kilowatts-heure augmente, mais pas d'une façon proportionnelle.

2° *Frais de personnel.* — Chaque voiture réclame un wattmann et un receveur. Cette équipe doit être un peu plus que doublée pour les conditions actuelles du service (durée, congés, maladies, etc.). On compte environ 0,50 fr par heure et par wattmann ou receveur.

3° *Entretien du matériel roulant.* — Cette catégorie de frais dépend évidemment de la bonne construction de la voiture, de la simplicité du type adopté, et enfin du nombre de kilomètres parcourus journellement par la voiture. C'est sur cette base qu'on s'appuie presque exclusivement pour chiffrer les dépenses qui s'y rattachent. Pour l'un des types adoptés par les tramways de Paris, type d'ailleurs fort mal conçu, on admet que les frais d'entretien doivent s'élever normalement à 0,06 fr par kilomètre-voiture. Au Havre, pour des voitures infiniment mieux appropriées à leur destination, les frais varient de 0,02 fr à 0,03 fr par kilomètre-voiture.

4° *Petit entretien* (lavage, éclairage, etc.). — Les frais sont ici d'un ordre de grandeur beaucoup moindre.

5° *Part contributive des voitures dans l'entretien des voies ferrées.* — Il est évident que ces frais dépendent à la fois du poids des voitures, du nombre de voyages, etc. Il est difficile de les chiffrer au moins pour le moment.

6° Enfin, on pourrait ranger dans une sixième catégorie, les charges imposées par la ville de Paris, droits de stationnement, entretien du pavage, frais spéciaux affectés à l'entretien du système Diatto, etc., etc.

II. Frais fixes. — Ces frais, qui ne dépendent pas du nombre des voitures en circulation, sont les frais d'administration, de direction et d'exploitation, d'assurance, caisse de retraites, etc.

Ils constituent le *minimum* de l'excédent des recettes journalières sur les frais proportionnels [1].

III. Tarifs. — Les tarifs, dans l'intérieur de Paris, sont de 0,15 fr en première classe et de 0,10 fr en seconde, *quelle que soit la longueur du parcours*.

De plus, dans une intention soi-disant démocratique, les cahiers des charges exigent que le nombre des places de première classe soit inférieur à la moitié du nombre des places de deuxième classe.

La voiture dont il s'agit contient donc 15 places de première, et 31 places de seconde, soit un produit, *à plein*, de 5,35 fr.

Il suit de là que pour le parcours de 20 km, la voiture, supposée pleine tout le temps (les voyageurs ne se renouvelant pas) rapporterait par jour 41,30 fr, ce qui représente une perte quotidienne de 24,80 fr par voiture. L'exploitation serait impossible.

Il faut admettre, il est vrai, que le personnel des voyageurs se renouvelle en cours de route. En supposant que la voiture se remplisse deux fois, ce qui est beaucoup, la voiture paierait chaque jour ses *frais proportionnels* et même un peu au delà, mais l'excédent serait insuffisant pour couvrir les *frais fixes*.

Avec le parcours restreint de 10 à 11 km, il en est tout autrement. Si on suppose la voiture toujours pleine (sans renouvellement) il reste au delà des frais proportionnels, une somme d'environ 20 fr par voiture. Si l'on admet un coefficient de renouvellement de 1,2 à 1,5 (le chiffre admis pour les lignes d'omnibus), l'exploitation peut et doit prospérer [2].

---

(1) Exemples numériques. — Pour donner une forme concrète, arithmétique, aux théories qui précèdent, on va calculer les dépenses par voiture et par jour sur un trajet de 20 km, en supposant que chaque voiture fasse 156 km par jour.

Je prends la voiture du type déjà cité. Elle pèse à vide 15000 kg, contient 15 voyageurs de 1re classe et 31 de 2e classe. Ces 46 voyageurs constituent un poids d'environ 3000 kg.

Les dépenses normales par voiture et par jour s'établissent ainsi :

1° Courant à 0,12 fr le kw-h (prix normal)	25 fr
2° Receveurs et wattmen (2 équipes : 4 agents à 5 fr par jour, plus une fraction pour les congés, maladies, absences)	22
3° Entretien du matériel roulant à raison de 0,05 fr par km.	10
4° Voies (entretien et emprunts)	4
5° Lavage et petit entretien	4
6° Frotteur Diatto.	1
	66 fr

Chaque voiture étant supposée parcourir 156 km par jour fait 7,7 courses. La course revient donc à $\frac{66}{7,70}$ = 8,57 fr.

On peut aussi calculer les dépenses par voiture-heure correspondant à un parcours de 10,800 km.

On trouve alors, par course :

1° Courant à 0,12 fr le kw-h. . .	1,40 fr
2° Receveurs et wattmen	1,25
3° Entretien du matériel roulant .	0,65
4° Divers	0,55
	3,85 fr
Pour 15,4 courses par jour :	59 fr

(2) Il résulte des deux paragraphes précédents, et avec une évidence qui semble indéniable, que la cause principale de la crise qui sévit sur les tramways parisiens réside dans la longueur des parcours, associée à des tarifs trop réduits.

Il eût été infiniment plus rationnel et aussi démocratique, si ce n'est plus, de supprimer toute distinction de classe et d'établir un prix uniforme de 0,15 fr. Ce prix eût été accepté avec reconnaissance par toute la clientèle des omnibus et des anciens tramways.

Il est également indiqué de couper en deux les lignes trop longues.

Une solution fort ingénieuse et qui dispenserait de recourir à cet expédient a été proposée par un groupe de

Questions diverses

Influence du nombre des voitures. — On admet — ou plutôt l'on admettait généralement — qu'en matière de tramways, le but idéal à atteindre est de faire circuler le plus de voitures possible, se succédant à intervalles aussi rapprochés que possible.

On va essayer ici de faire la part de ce qu'il y a de vrai et de faux dans cette théorie.

Il est certain que ce procédé a pour résultat, à la longue, de créer certaines habitudes dans le public. Combiné avec le tarif réduit, il amène le voyageur à prendre le tramway pour faire 200 m, 400 m, moyennant 0,10 fr, c'est-à-dire qu'il accroît la capacité industrielle en élevant le coefficient du renouvellement. Mais, d'autre part, il a le grand inconvénient d'être ruineux tant que ces habitudes ne sont pas prises. Or, la population parisienne qui fréquente les tramways, les omnibus, les moyens de transport à bon marché, a des habitudes diamétralement contraires. Le voyageur aime à aller aussi loin que possible pour un prix déterminé, à en *avoir pour son argent*. Il fait à pied la plupart des parcours de 1 km et plus. Il faudra du temps, des années, pour amener une transformation dans ces errements.

D'ici là, il faut procéder autrement, au moins pour les Compagnies dont le capital n'est pas suffisant pour leur permettre d'exploiter longtemps à perte.

On peut se rendre compte du phénomène par le calcul et par une construction graphique.

Reprenons l'équation

$$V(R_j - F_p) = \frac{1}{365}(F_f + B)$$

où V représente le nombre des voitures, R_j la recette journalière par voiture, F_p les frais proportionnels, F_f les frais fixes. Si je désigne par n le nombre des courses fixées par l'horaire, et par C le produit moyen des courses par jour, j'ai

$$V(nC - F_p) = D$$

ou, en divisant par n,

$$V\left(C - \frac{F_p}{n}\right) = \frac{D}{n}.$$

Cette équation représente, en portant le nombre des voitures V en abscisses et le produit moyen C d'une course en ordonnée, une hyperbole équilatère (fig. 1), ce qui montre bien qu'il y a intérêt à augmenter le nombre V, *mais à certaines conditions cependant*.

Supposons que le *coût* d'une course soit de 4 fr environ et qu'on emploie 12 voitures ; les frais proportionnels seront représentés par le rectangle A o, B 12. Supposons la course rapportant 8 fr. Le point M sera sur une hyperbole équilatère dont le centre est en A. Si l'on augmente le nombre des voitures, le rendement de la course diminuera, mais le produit restera (fig. 1) le même *tant que la voiture nouvelle sera pleine*. Si on diminue le nombre des voitures, le produit par voiture augmentera, mais on ne peut espérer augmenter indéfiniment ce produit, parce que le montant de la course ne peut s'accroître indéfiniment. Il y a donc lieu de procéder par tâtonnement, et d'augmenter successivement d'une unité le nombre des voitures jusqu'à ce que le produit total soit stationnaire.

Compagnies, sous le nom de *sectionnement*. Elle consistait à partager toutes les lignes intra-urbaines en sections de 3 km chacune; à maintenir le tarif existant pour la première section et à l'augmenter de 0,05 fr par chacune des sections suivantes. C'est exactement, d'ailleurs, le système adopté dans la banlieue parisienne. Les quelques complications, qu'elle apporterait à la délivrance et au contrôle des tickets, seraient facilement évitées en délivrant d'avance des billets à prix réduit, ce qui est absolument impossible avec le tarif dérisoire actuel.

Il est d'autant plus urgent de résoudre cette question des tarifs, que la situation déjà si triste d'un certain nombre de tramways interurbains, va se compliquer à courte échéance par l'achèvement du Métropolitain.

On peut poser en principe qu'en raison de la séduction irrésistible qu'exerce aujourd'hui la vitesse, le Métropolitain, à l'abri des embarras de voitures, est à un tramway électrique ordinaire, ce que le tramway est à l'omnibus. Si les tarifs ne sont pas rehaussés dans une proportion suffisante, toutes les lignes comprises dans la ceinture du Métropolitain subiront un grave préjudice à moins qu'elles ne puissent aussi exiger des prix de Métropolitain, c'est-à-dire au moins 0,15 fr.

On détermine ainsi, pour chaque ligne, une sorte de capacité provisoire de trafic qu'il ne faut pas dépasser.

En diminuant le poids on peut, pour une capacité de trafic donnée, augmenter le nombre des voitures. Il est absolument inexplicable qu'étant donné un tarif de 0,10 fr, s'abaissant parfois à 0,05 fr, des hommes compétents aient pu imaginer des types de voiture où le poids *payant*, le poids des voyageurs, représente à peine un sixième du poids total.

Emploi des voitures d'attelage ou remorques. — Les voitures d'attelage, dites « remorques ouvertes » ou « baladeuses », ont eu le plus grand succès auprès du public parisien, toujours très amateur des promenades du dimanche. Elles contiennent 50 places à 0,10 fr, pèsent à vide 3350 kg ; elles ne réclament, pour la distribution des tickets et la manœuvre, qu'un seul agent au lieu de deux. L'emploi du train, c'est-à-dire de la remorque ouverte attelée à une automotrice est donc très avantageux, parce qu'il double le *poids utile*, le poids *payant*, et n'augmente que d'un cinquième le poids total, et de moitié la rémunération du personnel.

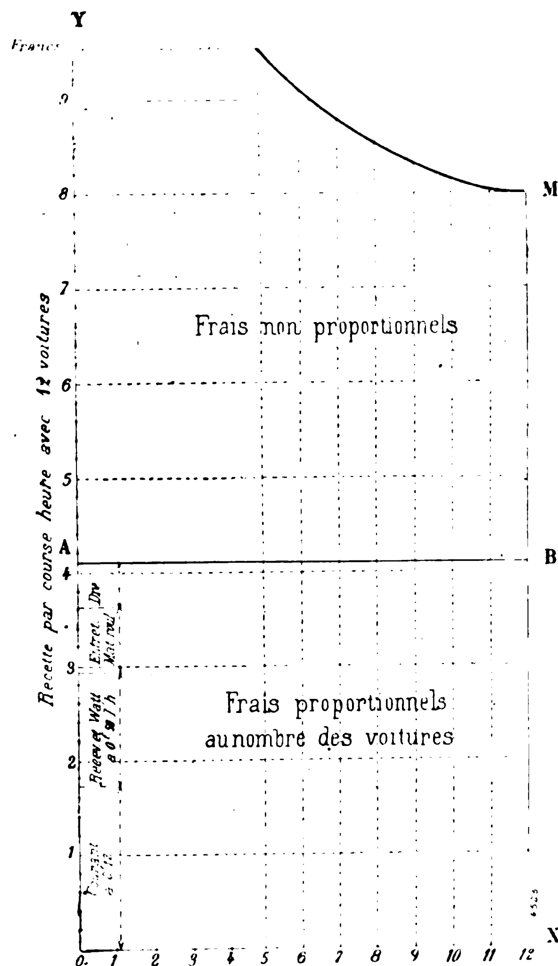


Fig. 1.

Mais, ici encore, il faut évidemment distinguer plusieurs cas.

Si, par exemple, la motrice et la remorque sont toutes deux à moitié pleines, la remorque est nuisible, car, si elle n'était pas là, le poids *payant* serait le même, et le poids *coûtant* serait diminué de un cinquième. Il faut donc employer les remorques seulement aux heures *pleines* de l'horaire ; les retirer aux heures *creuses ;* les atteler à profusion les dimanches, jours de fête, quand le temps est beau, et que le Parisien, qui adore toujours la campagne, comme au temps de Paul de Kock, veut aller respirer l'air des champs.

Les observations qui précèdent relèvent du pur sens commun, mais on sait et l'on voit à quel point ce sens commun est rare. A chaque instant, sur les lignes de traction mécanique, on rencontre des voitures hautes comme des maisons, à moitié pleines et traînant des remorques aux trois quarts vides.

Ajoutons que, dans bien des cas, les pouvoirs publics concourent à ce résultat désastreux, en interdisant la mise en circulation des remorques à certaines heures, leur rentrée ou leur sortie à certaines autres, et cela sous les prétextes les plus fantaisistes [1].

Modes de traction (trolet, caniveau souterrain, accumulateurs, contacts superficiels. — Cette question, si controversée, paraît bien simple à résoudre si l'on s'en tient à des considérations purement rationnelles et utilitaires qui peuvent se résumer ainsi :

De tous les systèmes employés jusqu'ici, le trôlet est, de beaucoup, celui dont l'installation

(1) En 1900, il avait été un moment question d'interdire l'usage des « baladeuses » en hiver ; on craignait en haut lieu que les voyageurs circulant dans des voitures ouvertes ne fussent *exposés à s'enrhumer !* On oubliait qu'au même moment on permettait à d'autres milliers de voyageurs de circuler sur les impériales.

est la moins coûteuse, le fonctionnement le plus régulier, le plus économique et *le moins dangereux* pour les personnes surtout et pour les animaux qui parcourent la ligne.

Mais il entre en jeu des considérations esthétiques.

De crainte de compromettre la pureté des perspectives de la Ville-Lumière, les conseillers municipaux et les ingénieurs refusent de laisser introduire le trôlet, même dans les régions incontestablement les plus inesthétiques de Paris. C'est un principe ! Périssent les tramways plutôt qu'un principe ! Tel Ruskin, le grand prêtre intransigeant de la Religion de la Beauté, prêchait la suppression des chemins de fer, prétendant que ces pionniers de la civilisation altéraient de façon irréparable le charme des paysages britanniques. [1]

Cahiers des charges. — Indépendamment des tarifs sur lesquels on s'est expliqué plus haut, les cahiers des charges contiennent un grand nombre de dispositions, les unes au profit de la Ville (droits de stationnement, entretien du pavage sur une zone trop large, etc.), les autres, philanthropiques dans l'intérêt des ouvriers et employés (caisse des retraites, congés payés, *minimum* de salaire, etc.). On ne saurait trop louer les sentiments municipaux et généreux qui ont inspiré les auteurs de ces dispositions, mais il faut bien reconnaître que c'est le capital qui doit payer toutes ces générosités et que les tarifs actuels, trop réduits, le mettent dans l'impossibilité d'y subvenir. Aussi, le capital, « l'infâme capital », n'a-t-il plus qu'une idée, c'est de se dérober aux charges accumulées sur lui. Il se résignerait plutôt à perdre tout ce qu'il a mis dans les tramways, plutôt que d'y ajouter un centime.

Visiblement, ceux qui ont imposé, ceux qui ont accepté des conditions inexécutables, ont compté sur l'étendue des merveilleux pouvoirs dévolus à la fée électricité qui arrangeait tout.

Grave erreur, s'il s'en fut ! De toutes les manifestations industrielles, c'est dans l'industrie électrique que se comptent et se pèsent le plus exactement, le plus minutieusement, les dépenses de tout ordre et les charges de toute nature.

Georges Guéroult,
Ancien Elève de l'École Polytechnique.

(1) Ce principe est respectable, comme tous les principes, à condition qu'il soit fondé.

Esthétiquement, l'on peut soutenir qu'un train, lancé à toute vitesse dans la campagne, apporte au paysage un élément de vie, de force, de puissance qui n'est pas à dédaigner.

Toute masse animée d'une grande vitesse éveille en nous l'idée de forces émanant d'un être mystérieux auquel nous sommes tentés de prêter nos propres passions. Telle, par exemple, la mer *en fureur*. De même, dans une rue, le tramway, la bicyclette, l'automobile, tout ce qui va vite, en un mot, apporte à ce point de vue un élément esthétique. Le trôlet, sous ce rapport, présente sur les autres systèmes une certaine supériorité en ce que l'un des organes du mouvement, la perche, est visible à l'œil. C'est ainsi qu'une locomotive est beaucoup plus *intéressante* à l'œil qu'un des wagons qu'elle traîne, rien que par le mouvement enragé de ses bielles.

Nous ne voudrions rien exagérer pourtant; si le poteau du trôlet nous semble ni plus ni moins esthétique que le candélabre qui porte la lanterne d'un réverbère, l'accumulation des fils aux croisements des lignes peut produire une impression désagréable, mais *l'accumulation* seule. Un fil ou deux suspendus en l'air peuvent être considérés comme négligeables. Or rien n'est plus facile que de modifier les tracés de façon à éviter ces accumulations dans les beaux quartiers.

En tout cas, l'on peut presque affirmer qu'à moins d'un relèvement considérable des tarifs — la Beauté se paie — aucune Compagnie de tramways ne prolongera, à l'intérieur de la ceinture du Métropolitain, ses lignes en caniveaux souterrains, n'aura recours aux accumulateurs ou aux contacts superficiels, au moins dans l'état actuel de l'industrie électrique.

CONSTRUCTION RATIONNELLE DES ALTERNATEURS

Les considérations qui vont suivre sur la construction rationnelle des alternateurs triphasés sont basées sur une longue série d'études et d'essais effectués dans les ateliers de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

Nous insisterons d'abord sur la très grande variété des conditions imposées à un type de

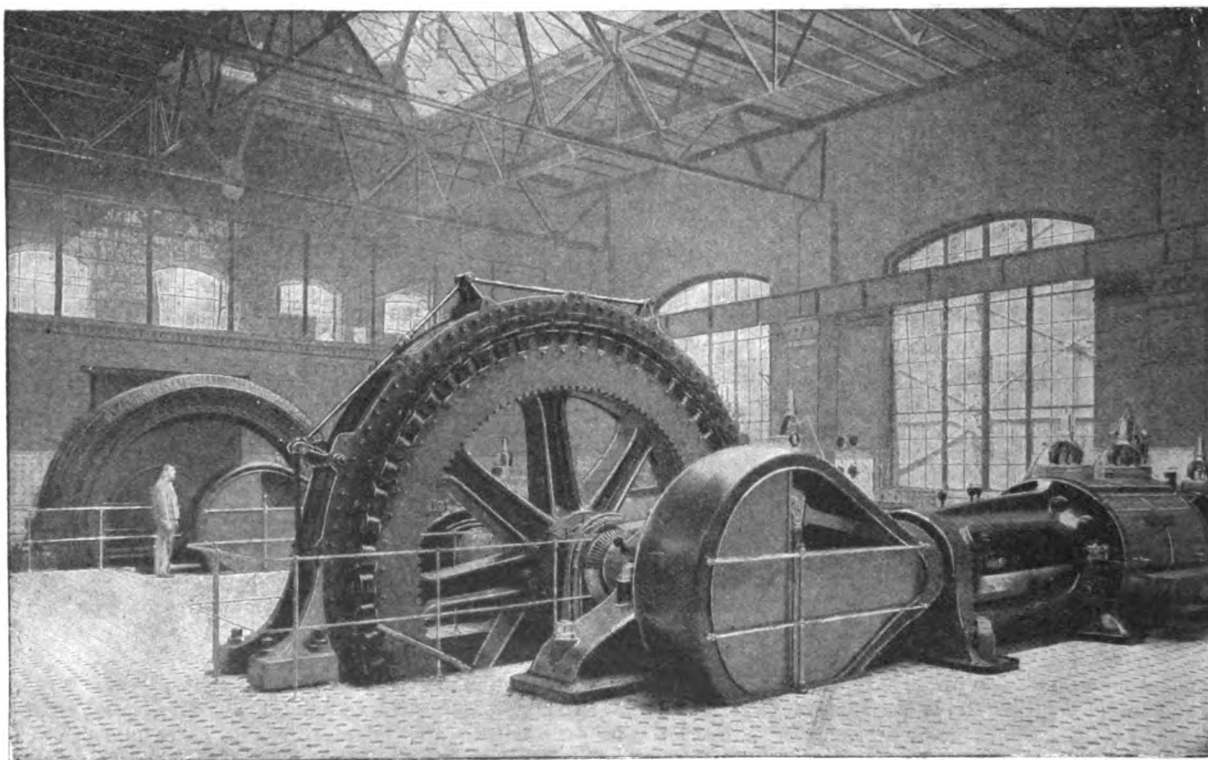


Fig. 1. — Alternateur avec bâti à tendeurs

dynamo. D'une part, en effet (§. I), pour une même puissance, la vitesse est extrêmement variable, d'autre part, le moment d'inertie peut prendre des valeurs très diverses (§. II). Avec les grandes vitesses circonférentielles résultant des forces vives nécessaires, la construction habituelle des inducteurs en fonte avec pôles boulonnés peut devenir insuffisante (§. III).

Déjà dans la construction des dynamos de 3 et 4 m de diamètres, de légères flexions élastiques furent constatées au moment du montage de bâtis alésés dans une position horizontale. Avec une construction très massive, les déformations restent admissibles,, néanmoins lorsque les diamètres augmentèrent on fut obligé de donner à tout le bâti une raideur artificielle : on munit à cet effet le bâti de tendeurs ou d'organes de compression (§. IV).

Ainsi donc, d'une part, malgré les conditions très variées imposées par les moteurs, il fallait arriver à une fabrication uniforme ; d'autre part, il fallait donner au bâti une rigidité suffisante. A cet effet, on supprime la carcasse de fonte, et l'armature en tôles devient la pièce principale de l'alternateur. La rigidité est obtenue au moyen de tendeurs, ce qui a pour effet de diminuer considérablement le poids (§ V).

En exécutant ces appareils tendeurs, on reconnut que leur poids était, à raideur égale (c'est-à-dire pour des déformations élastiques de même amplitude), une faible fraction du poids de l'ancien bâti de fonte travaillant à la compression (§. VI).

Les conséquences sont faciles à formuler : économie de poids, diminution des frais de main d'œuvre, de matière, de transport ; diminution de l'importance des fondations ; délais de livraison plus réduits (§. VII).

I. Variété des conditions imposées a un même type d'alternateur. — Les propriétés électriques des machines, rendement, chute de tension, puissance normale, etc., sont en général bien déterminées pour les machines d'un même constructeur et ne sont pas sujettes à variations. Par

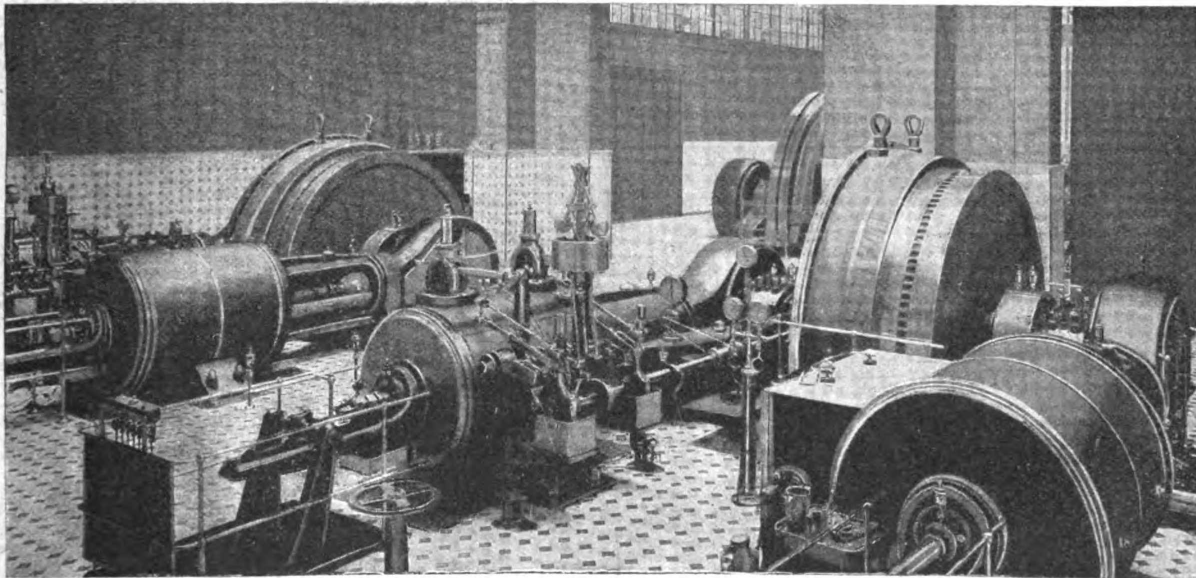


Fig. 2. — Alternateurs à fer tournant.

contre, les propriétés de l'alternateur qui sont en corrélation avec la machine motrice sont très variables. Dans ces dernières années, elles ont subi d'importantes modifications. Des alternateurs commandés par courroie, on a passé aux dynamos à vapeur à grande vitesse, puis on est revenu aux machines à vapeur normales. Mais les vitesses sont des plus diverses. Pour 1 000 chevaux, on admet encore 150 tours et l'on descend jusqu'à 80, 75 et même au-dessous par un très grand nombre d'échelons. Les turbines et les convertisseurs exigent des vitesses tout à fait en dehors des précédentes, de sorte que l'on se trouve inévitablement amené, pour une grande échelle de puissance, à 10 ou 20 vitesses différentes.

Diverses raisons de construction ont conduit à disposer les machines en tandem, à caler les 2 manivelles à 180 ou 90° ou même à caler 3 manivelles à 120°. Il en résulte des moments d'inertie très différents. Les moteurs à gaz des hauts fourneaux ont amené des exigences encore plus grandes à ce sujet. Mais aux divers moments d'inertie correspondent diverses vitesses circonférentielles pour les inducteurs, et par suite pour une même vitesse angulaire, divers diamètres des dynamos.

Dans un autre sens, l'utilisation des basses chutes conduit à changer la construction et à adopter les arbres verticaux.

Les anciens alternateurs étaient construits pour des tensions relativement basses. Aussi ces machines étaient-elles entièrement analogues aux dynamos à courant continu. Le bâti fixe portait les pôles inducteurs, l'induit était mobile et le courant recueilli au moyen de bagues et de frot-

teurs, qui remplaçaient purement et simplement le collecteur des dynamos à courant continu. La figure 7 représente le circuit magnétique de ces alternateurs.

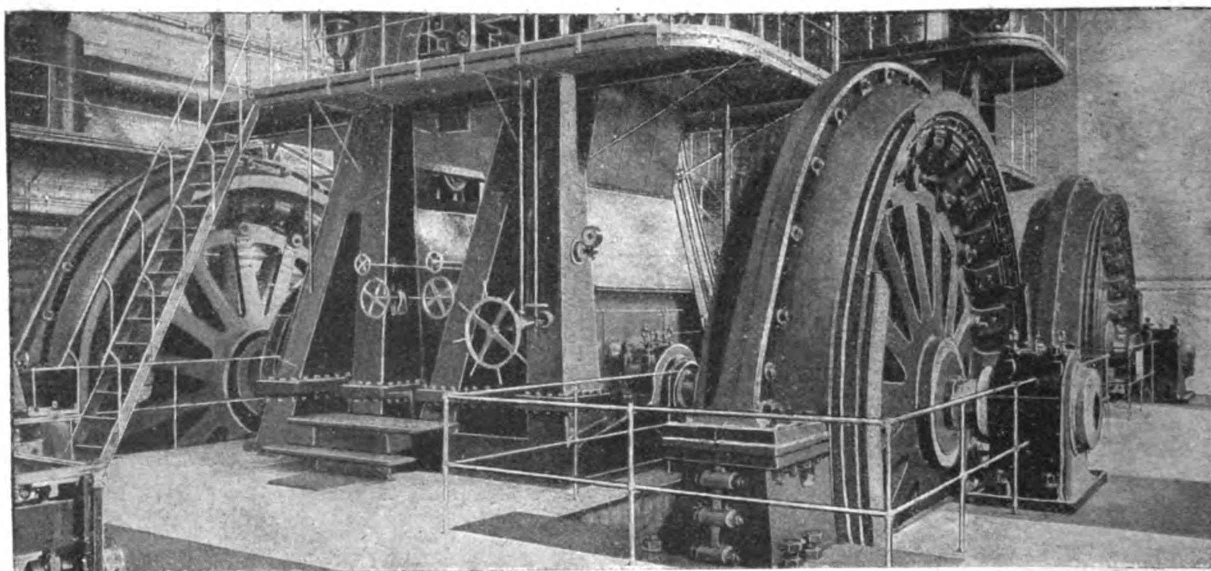


Fig. 3. — Alternateurs à fer tournant de 1 000 kilowatts d'une station de Berlin.

Mais au fur et à mesure que les tensions s'accrurent, les difficultés d'isolation grandirent également pour les parties mobiles. La tendance à supprimer les bagues et les frotteurs conduisit

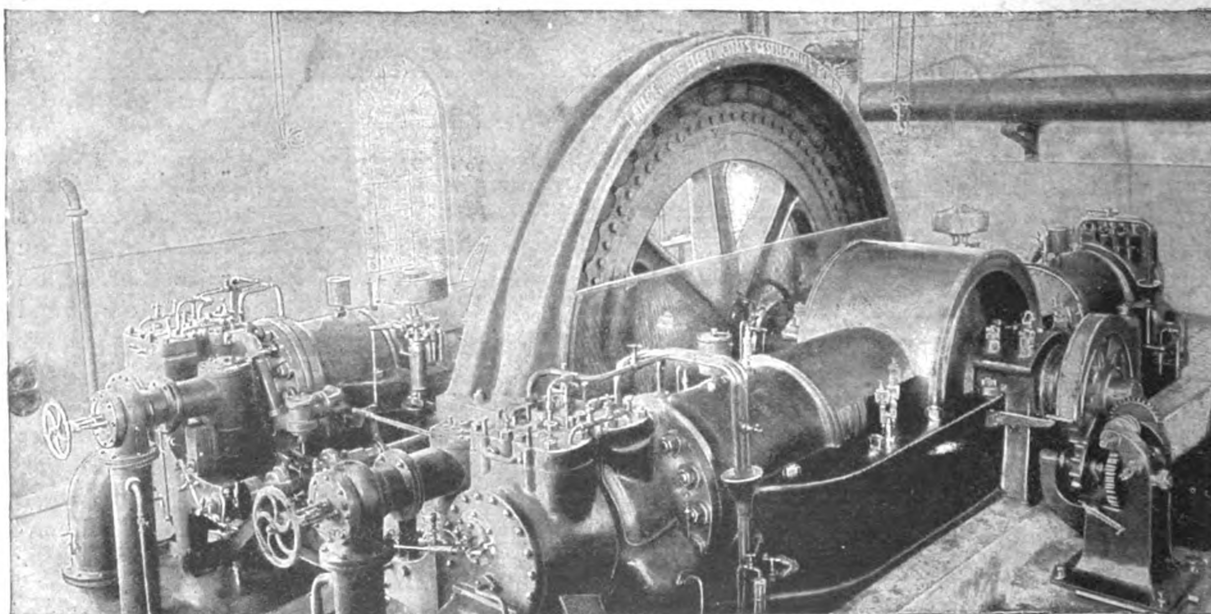


Fig. 4. — Alternateur de 600 chevaux commandé par un moteur à gaz de hauts fourneaux.

à des formes intermédiaires, appelées dynamos à fer tournant. Aujourd'hui on admet à nouveau bagues et frotteurs, mais seulement de petites dimensions pour le courant inducteur à basse tension.

Les figures 8 et 9 représentent les circuits magnétiques des formes intermédiaires.

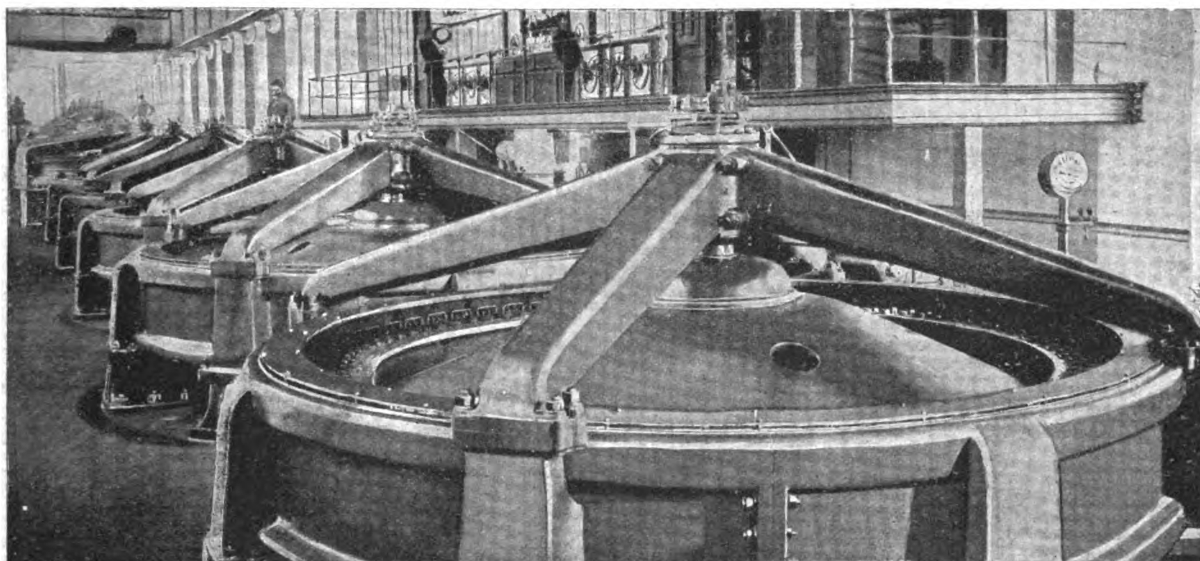


Fig. 5. — Alternateurs de Rheinfelden.

La construction des machines représentées par la figure 9 présente certaines difficultés. Il

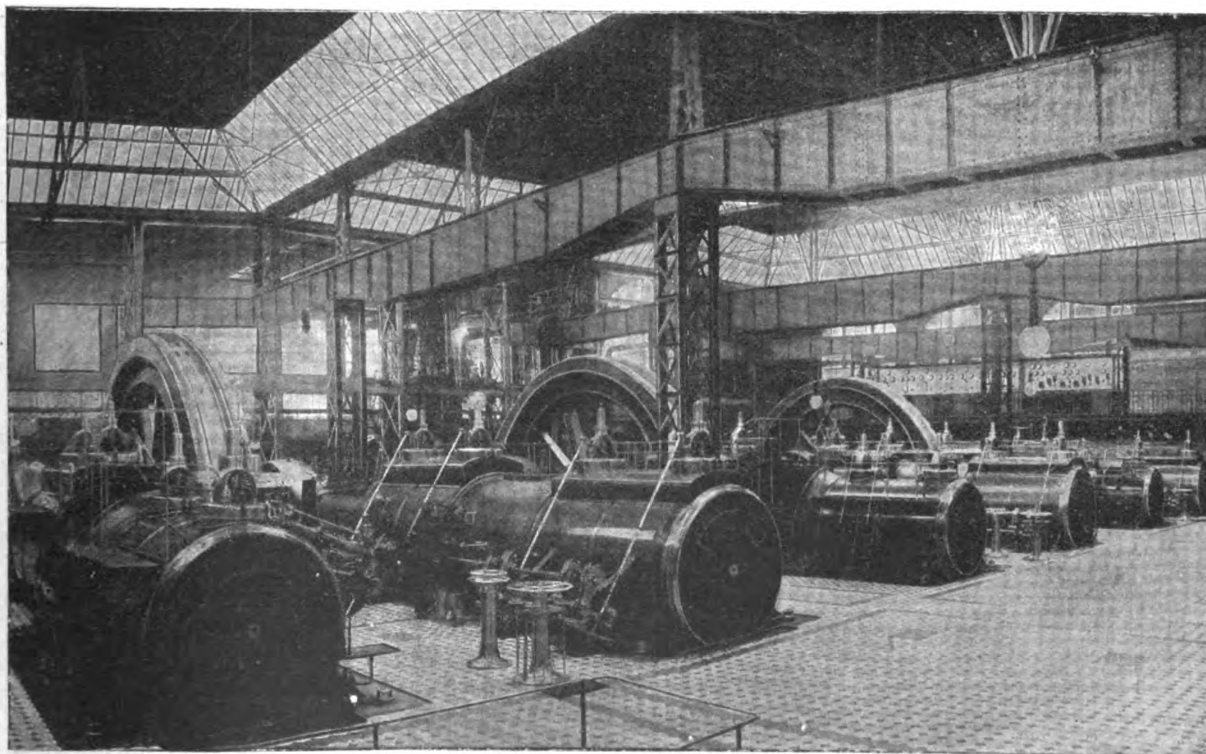


Fig. 6. — Alternateurs de 4000 chevaux d'une station de Berlin.

fallait fixer les pièces polaires sur le volant de la machine à vapeur, ce qui exigeait une étroite

collaboration des constructeurs de l'alternateur et de la machine à vapeur. Le diamètre de l'anneau des pièces polaires devait être rigoureusement respecté et la division devait se faire avec le plus

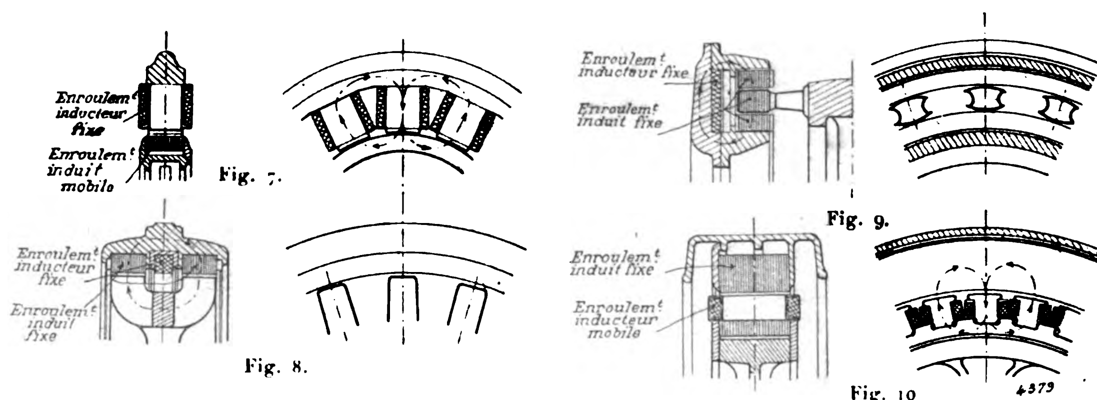


Fig. 7 à 10. — Circuits magnétiques d'alternateurs.

grand soin. Pour de grandes vitesses, cette disposition n'était pas admissible, car la fatigue des boulons de fixation des pôles devenait exagérée. On a construit un assez grand nombre d'alternateurs de 200, 400, 800 chevaux d'après ce système (fig. 2). Avec des machines à vapeur verti-

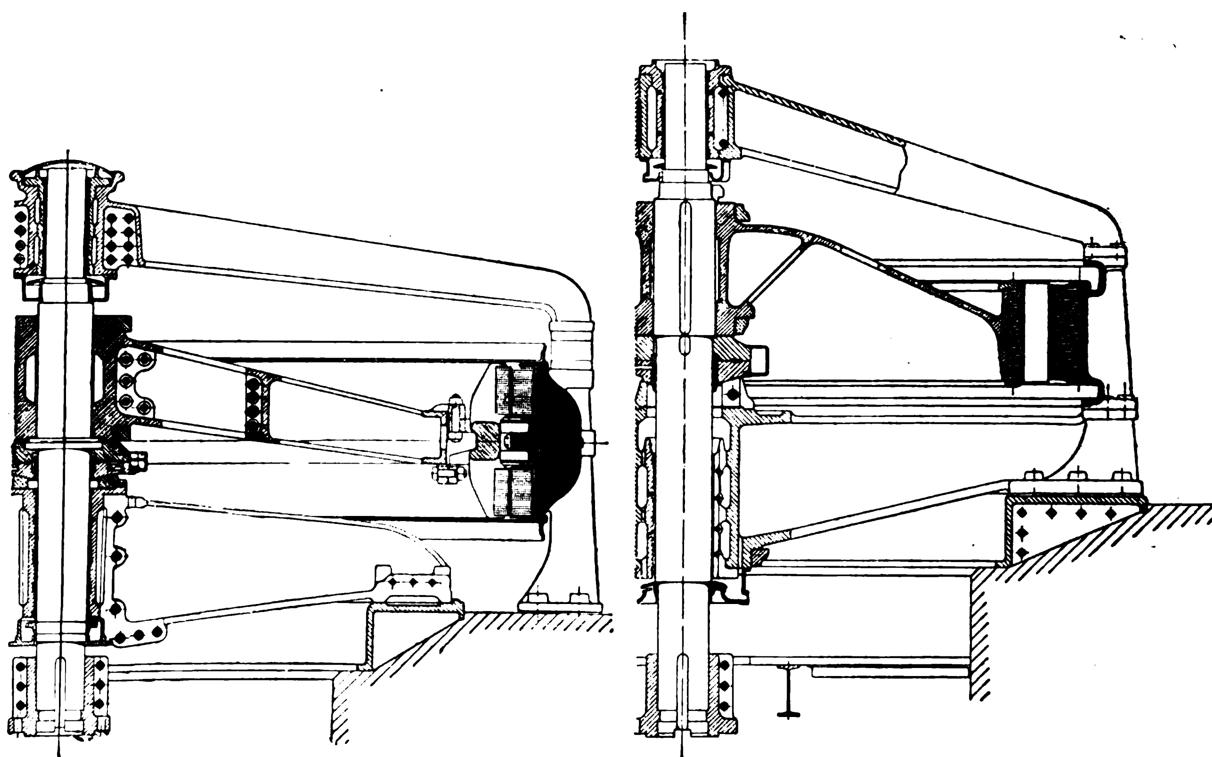


Fig. 11 et 12. — Alternateurs à axe vertical.

cales, les alternateurs étaient encore suffisamment accessibles ; mais avec des machines horizontales, les réparations devenaient très difficiles.

Le type de la figure 8 a été construit pour les alternateurs à allure rapide commandés par

courroie. On en a fait un certain nombre de 1 000 chevaux commandés directement. L'une des stations centrales de Berlin a 4 machines de 1 000 chevaux de ce type (fig. 3).

Le type usuel de ces dernières années a été l'alternateur à pôles intérieurs que tout le monde connaît (fig. 10). Seules les exigences d'une construction rationnelle ont conduit à modifier ce type. Au moment où il a été établi, on commençait seulement à construire de grandes dynamos et il est assez naturel que l'on n'ait pas entièrement aperçu à ce moment les conditions théoriques

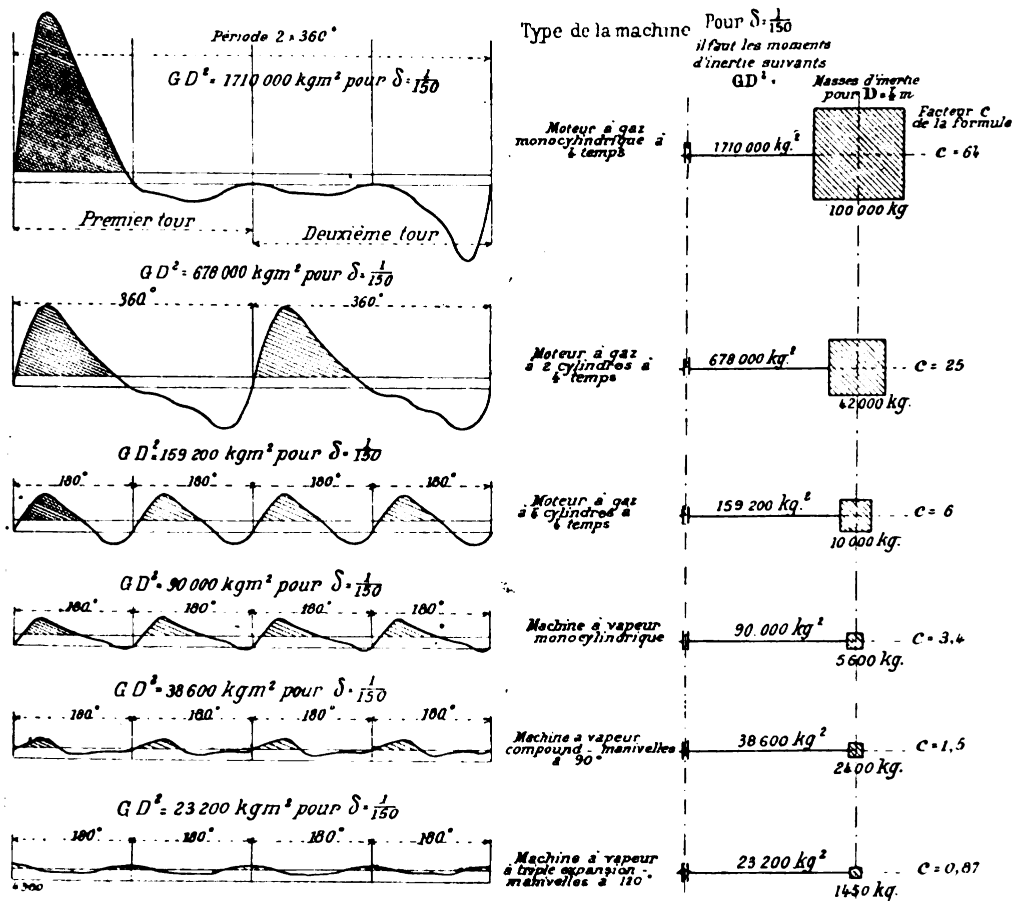


Fig. 13. — Diagrammes de moteurs à gaz et à vapeur.

que l'emploi de cet alternateur imposeraient plus tard. Le bâti y forme l'armature et porte l'enroulement induit ; les bobines inductrices sont fixées sur l'inducteur tournant. On se préoccupait déjà alors de la construction par série : pour une vitesse donnée, on obtenait, dans certaines limites, les diverses puissances en faisant varier simplement la largeur de la machine. La construction de la partie tournante permettait déjà une grande vitesse circonférentielle, car les pôles, au lieu d'être boulonnés sur un disque de fonte, étaient fixés sur une couronne de tôles. La construction de l'usine génératrice de Rheinfelden (fig. 5) eut lieu précisément à l'époque de transition entre les deux types précédents.

En même temps, la construction des turbines faisait des progrès, et pour une même hauteur de chute, on pouvait augmenter un peu la vitesse. L'ancien inducteur des alternateurs à fer tournant (fig. 11) qui était lourd et en 10 pièces (avec un croisillon à 5 bras et une couronne en 5 parties) fut remplacé par un inducteur léger en une seule pièce (fig. 12). Les deux figures 11 et 12 donnent les dimensions des deux modèles pour une même puissance.

La figure 4 représente un alternateur du type N D M accouplé à un moteur à gaz des hauts fourneaux de la fabrique Deutz (600 chevaux).

La figure 6 représente des alternateurs du même type d'une puissance de 4 000 chevaux construits pour les stations centrales de Berlin. Dans ces stations se trouvent en fonctionnement un grand nombre d'unités de 1 000 et 2 000 chevaux et, en outre, 8 unités de 4 000 chevaux.

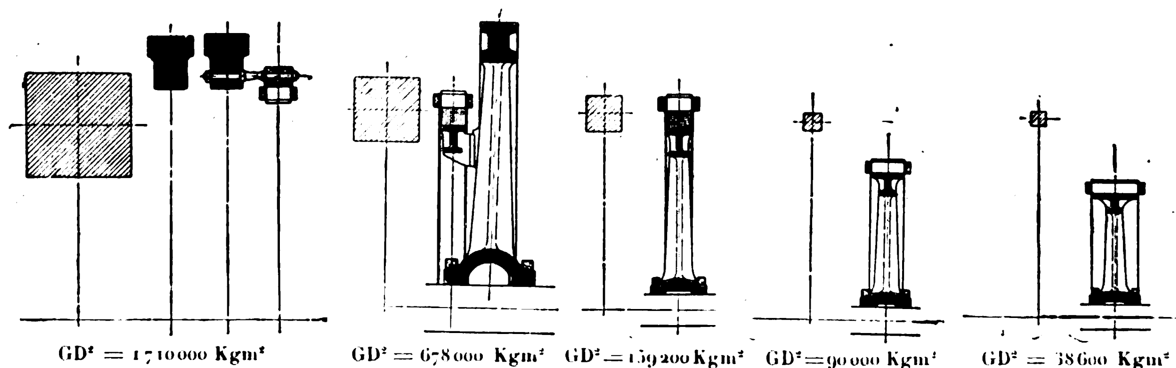


Fig. 14. — Sections des volants.

2. Dimensions et dispositions des volants. — Les diagrammes des efforts moteurs (fig. 13) servent de base au calcul des volants. Ils montrent le travail qui doit être périodiquement absorbé et restitué par le volant. Au premier rang, pour l'irrégularité, se trouve le moteur à gaz monocylindrique à 4 temps, qui donne une explosion tous les deux tours. Si l'on accouple deux cylindres donnant alternativement une explosion par tour, l'irrégularité est déjà moindre.

La figure 15 représente une machine de ce genre exécutée par les ateliers de Deutz.

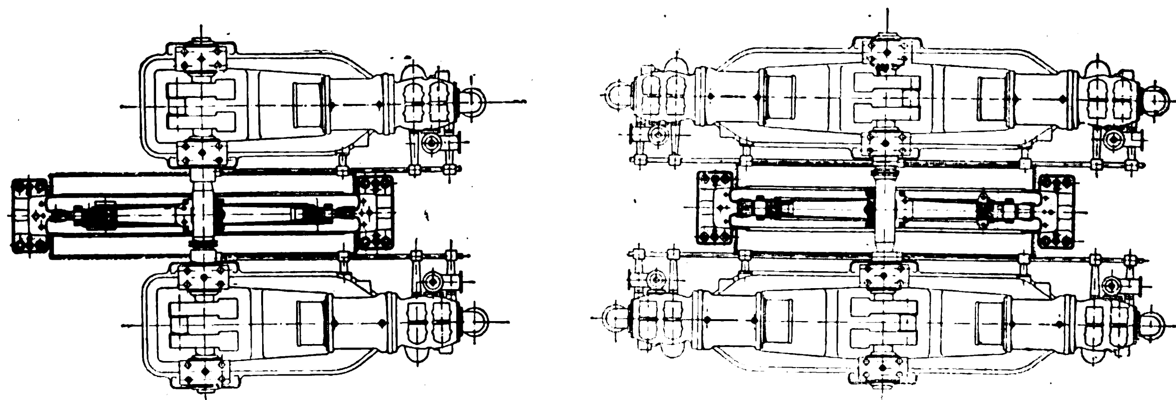


Fig. 15 et 16. — Moteurs à gaz Deutz à 2 et à 4 pistons.

La figure 16 montre une combinaison de deux groupes de ce genre, dans laquelle les explosions se suivent à 180°. Il est facile, dans ce cas, de réaliser le volant nécessaire, d'autant plus que les moteurs de Deutz tournent très vite. Et on sait que la masse d'un volant varie en raison inverse du cube de la vitesse.

La figure 4 représente un groupe de ce genre exécuté pour les forges de Oberhausen.

La figure 17 représente un moteur à gaz sortant des ateliers d'Augsbourg et de Nuremberg; deux de ces moteurs ont été exécutés pour les forges de Phénix. Les explosions des deux cylindres disposés en tandems se suivent à 360° d'intervalle pour chacun d'eux ; les manivelles sont calées à 180° ; il en résulte que les explosions se suivent à 180°.

Dans le moteur à double effet de Koerting (fig. 18), les manivelles des deux machines sont

calées à 90° On a par conséquent la même succession d'efforts que dans la machine à vapeur à deux bielles. De chaque côté du piston les cylindres travaillent à deux temps ; pendant la marche inverse qui suit une explosion les gaz brûlés sont expulsés pendant qu'un nouveau mélange est aspiré et comprimé. La force vive que le volant doit absorber et restituer est cependant beaucoup plus grande que pour les machines à vapeur à deux manivelles, car dans un même diagramme les efforts exercés sur le piston ont un écart bien plus grand.

Pour toutes ces machines, on a pu éviter un volant additionnel et donner à l'inducteur seul un moment d'inertie suffisant.

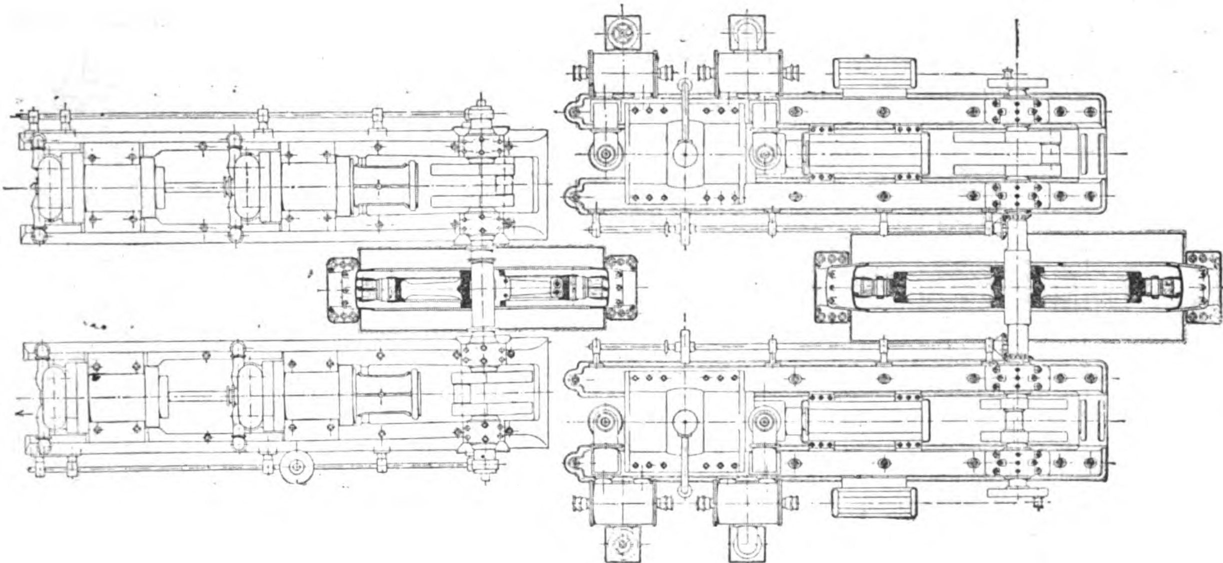


Fig. 17 et 18. — Moteur à gaz des ateliers d'Augsbourg et Nuremberg et moteur à gaz Kœrting.

La considération des surfaces correspondant à la force vive qu'un volant doit absorber (fig. 13) conduit à l'expression suivante de la force vive nécessaire pour l'obtention d'un coefficient de régularité donné δ.

Travail par période de y tours $= A_2 = \frac{60.75.N.y.}{n.}$

Excédent de force vive. $A_1 = Mv^2\delta = \frac{G}{g}v^2\delta = \frac{G}{g}\frac{D^2\pi^2n^2\delta}{60^2}$

En posant :

$$\frac{A_1}{A_2} = x \qquad \text{ou} \qquad A_1 = xA_2.$$

on a

$$\frac{G}{g}\frac{D^2\pi^2n^2\delta}{60^2} = \frac{60.75Nxy}{n}$$

$$GD^2 = \frac{60.75.60^2.9{,}81}{n\pi^2n^2\delta} Nxy = \frac{10^6 16{,}2Nxy}{n^3\delta}$$

Si l'on pose $16{,}2\,xy = c$, on a

$$GD^2 = \frac{1.000.000.cN}{\delta n^3} \text{ en kgm}^2 \qquad\qquad GD^2 = \frac{1\,000\,cN}{\delta n^3} \text{ en tm}^2.$$

où N est la puissance en chevaux, n le nombre de tours par minute et la constante c la valeur moyenne des diagrammes relevés aux divers cylindres.

Dans la figure 14, on a représenté les sections des volants correspondant à une même vitesse angulaire, à une même puissance et à une même vitesse du centre de gravité. Les croquis qui accompagnent chaque section montrent comment le constructeur doit réaliser ces grandeurs mathématiques de façon à établir des volants et des inducteurs pratiques. On arrive à divers diamètres correspondant aux vitesses angulaires les plus appropriées à chaque cas.

La disposition la plus naturelle consiste à disposer l'inducteur de façon qu'il constitue à lui seul toute l'inertie nécessaire (fig. 19). La figure 20 représente un dispositif permettant d'employer l'alternateur normal, mais dans lequel le moment d'inertie nécessaire est réalisé au moyen de volants spéciaux qui exigeaient des bouts d'arbres et paliers spéciaux. On était conduit à cette solution peu élégante par l'impossibilité de donner à l'inducteur l'inertie suffisante sans dépasser les efforts limites qu'on pouvait imposer aux arbres ou aux paliers.

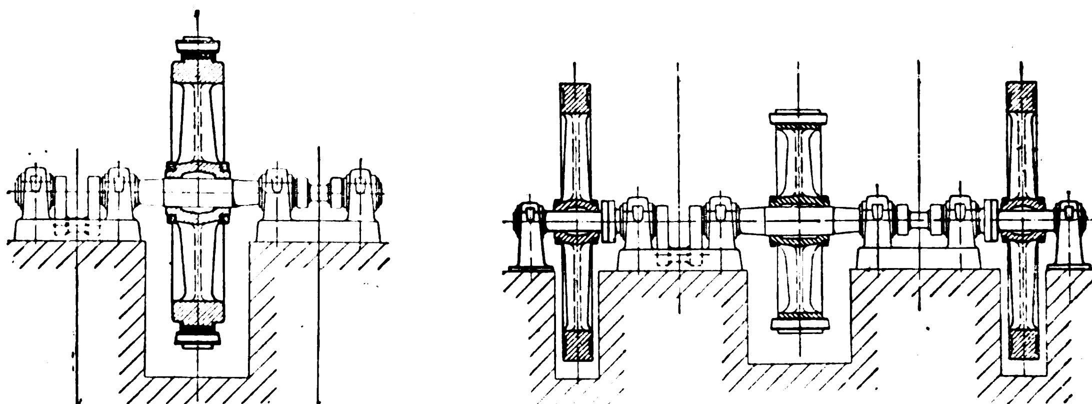


Fig. 19 et 20.

3. Inducteurs pour grandes vitesses. — Les machines tandem et les moteurs à gaz exigeant une grande inertie des pièces tournantes sous un faible poids, on a été conduit à augmenter les vitesses circonférentielles. On avait coutume de ne pas dépasser 30 m : s pour les volants de fonte. On ne dépassait pas, en effet, des efforts de 100 kg par centimètre carré. Cette limite était imposée d'une part par la résistance de la matière, d'autre part par l'incertitude où l'on est toujours sur la présence de tensions intérieures dans la fonte, et enfin à cause de l'impossibilité où l'on se trouve de calculer exactement les forces centrifuges et tangentielles qui s'exercent sur les diverses molécules du volant.

Les difficultés sont encore plus grandes pour les inducteurs : la couronne est soumise, non seulement à sa propre force centrifuge, mais encore à celle des masses polaires et des bobines (fig. 21). En donnant à la couronne une section en I et en soignant les raccordements des bras et de la couronne, on est arrivé à 25 m : s de vitesse périphérique, sans efforts exagérés. Des vitesses plus élevées sont extrêmement difficiles à atteindre avec cette construction.

Ces considérations ont conduit à la construction des inducteurs représentés par les figures 22 et 23 qui permettent d'atteindre les vitesses tangentielles indiquées par la pratique. Les pôles ne sont plus boulonnés sur la couronne de fonte : autour de celle-ci est fixée une couronne de tôles dans laquelle les pôles sont fixés par des prolongements en queue d'hironde.

La couronne massive en fonte n'est plus nécessaire (à moins que l'inertie l'exige). La couronne de tôles travaille à la traction et les efforts de flexion qui se produisent dans les volants de fonte, entre deux bras consécutifs, sont supprimés. La figure 24 montre que les paquets de tôle sont réunis comme une chaîne et que toutes les sections de la couronne sont ainsi faites. On se trouve complètement à l'abri des tensions intérieures et des défauts de la fonte ; la résistance à la traction des tôles est d'ailleurs bien connue et toujours facile à mesurer.

La couronne de tôles peut s'étendre de toutes parts en vertu de la force centrifuge et tra-

vaille, par conséquent, d'une façon certaine à la traction. Des clavettes servent à la tendre sur les bras de l'inducteur (fig. 22 et 23). La figure 25 montre que les paquets sont réunis par des goujons (4 par paquet). Ces goujons travaillent souvent au cisaillement; on peut d'ailleurs réduire cet effort par les assemblages en queue d'aronde des pôles à la couronne. En résumé, cette construction permet de déterminer exactement les efforts et la propriété des matériaux employés.

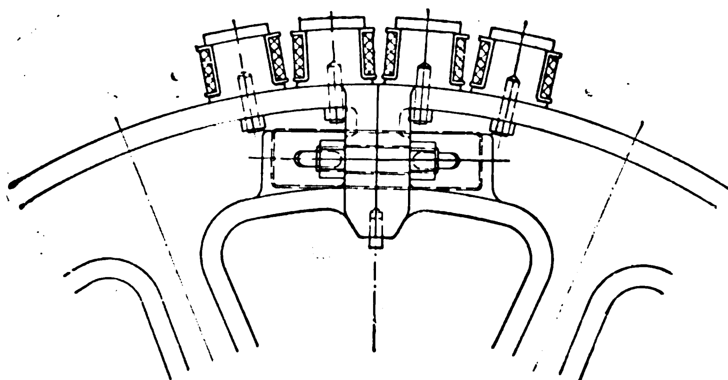
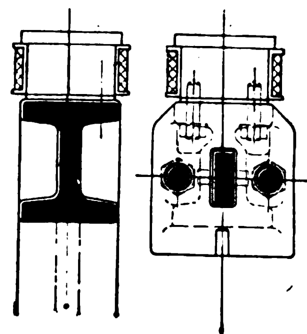



Fig. 21.

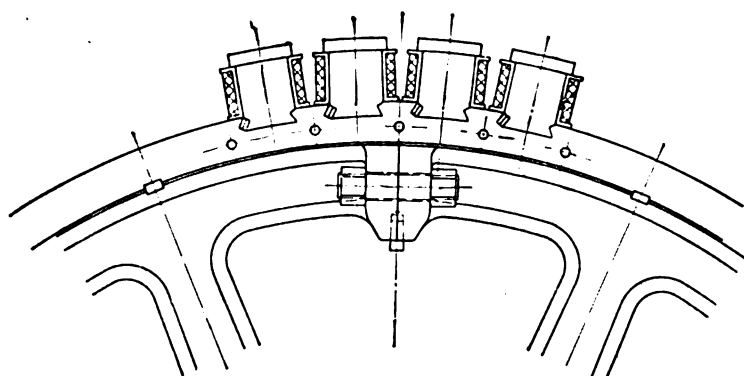
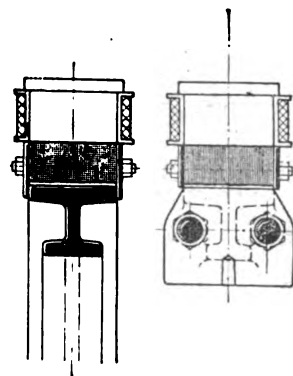



Fig. 22.

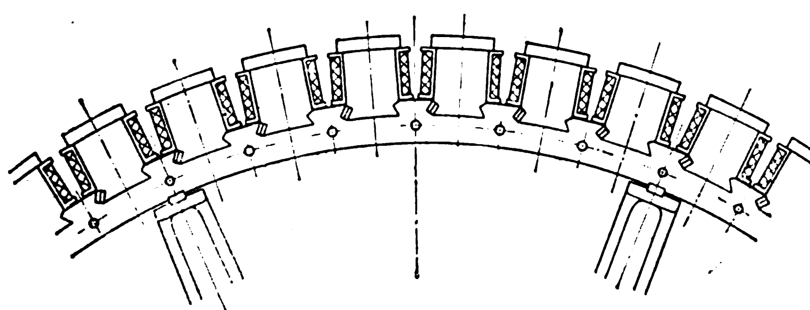
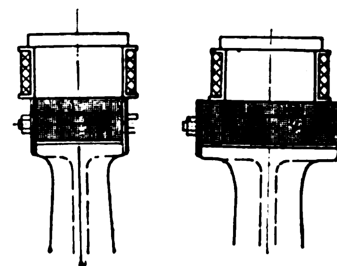



Fig. 23.

Fig. 21 à 23. — Diverses formes d'inducteurs.

On peut opposer à la chaîne de tôles librement extensible la construction suivante, qui a été réalisée pour un alternateur de 4000 chevaux (fig. 26). On se préoccupait de réaliser une grande inertie sous un faible poids. Là aussi la couronne est constituée par des tôles qui portent les masses polaires; la couronne de fonte est supprimée et, de plus, les bras de fonte sont remplacés par des tirants tangentiels très élastiques. Les points d'attache ont été choisis très nombreux, de

façon à diminuer autant que possible les flexions de la couronne. Chaque point d'attache est réuni par quatre tirants (2×2) au moyeu. Tous les points d'attache sont naturellement articulés. A la vitesse de 83 tours par minute, l'induction avait une vitesse périphérique de 34 m ; la vitesse du centre de gravité est de 30 m par seconde. Si la couronne était librement extensible, elle s'étendrait, pour cette vitesse, de 0,5 mm suivant le rayon (fig. 27). Si l'on voulait alors relier de nouveau la couronne aux tirants, il faudrait d'une part exercer sur les points d'articulation des efforts qui ramèneraient la couronne à sa position primitive ; d'autre part, il faut que les tirants soient soumis à des efforts correspondants. Le diagramme de la figure 28 représente ce processus. On a porté en abscisses les efforts unitaires pour chaque articulation, en ordonnées les déformations correspondantes des tirants et de la couronne. Le point de départ de la caractéristique de la couronne est à 0,5 mm de celle du tirant, pour ce point la couronne a pris librement la forme correspondant à $v = 30$, le tirant n'est encore soumis à aucun effort. Au point d'intersection des deux caractéristiques, on peut joindre l'articulation. L'effort en ce point est de 12 500 kg. Dans la figure 29, on a représenté ce qui se passe lorsque l'on a donné, lors du montage, une tension de 4 000 kg aux tirants ; on empêche de la sorte que, au moment du démarrage, les tirants supérieurs non soumis au poids de la couronne ne soient complètement déchargés. Dans la figure 30, l'effort est encore augmenté de 10 000 kg ; cette augmentation est due à un échauffement de 10° de la couronne. Cet échauffement correspond à la pleine charge. Il faut ajouter aux efforts précédents les efforts variables dûs à la rotation de la couronne.

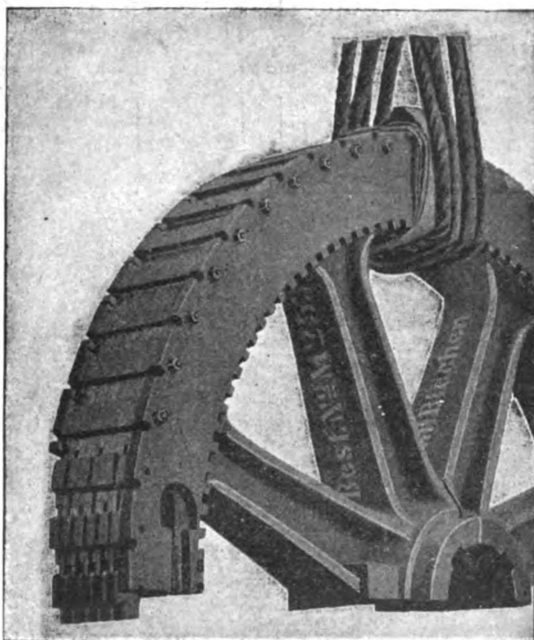


Fig. 24. — Vue d'un inducteur.



Fig. 25. — Liaisons des paquets de tôles.

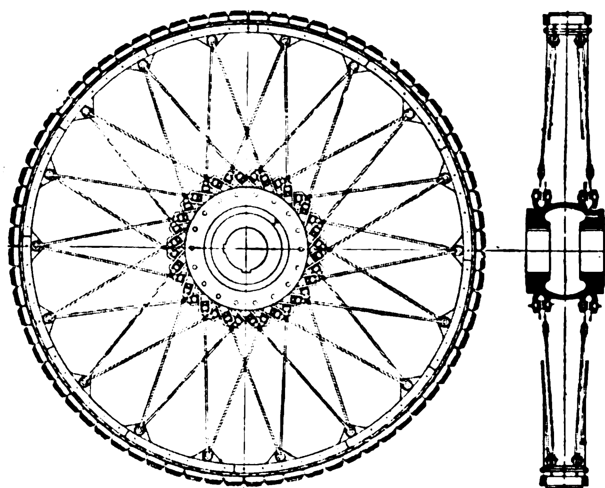


Fig. 26. — Alternateur à tirants tangentiels.

Pour permettre de réaliser exactement les tensions nécessaires lors du montage, on se servit de ressorts préalablement tarés qui, pour la charge donnée, devaient prendre exactement la longueur d'une douille calibrée (fig. 31). On évitait ainsi toute tension exagérée des tirants ; d'autre part, si, en marche, un ressort venait à se briser, il n'en résulterait aucun accident, car la douille subirait immédiatement le même effort, sans variation de longueur. L'inducteur précédent n'est cependant plus exécuté, car il a été reconnu moins économique que celui qui avait été décrit auparavant.

Pour un moment d'inertie donné, il existe une vitesse circonférentielle qui donne lieu au

maximum d'économie de matière pour l'inducteur ; mais, d'autre part, un alternateur est souvent moins coûteux si on diminue le diamètre en augmentant la largeur. Ces conditions contradic-

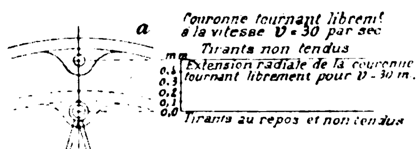


Fig. 27.

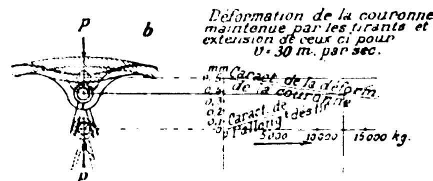


Fig. 28.

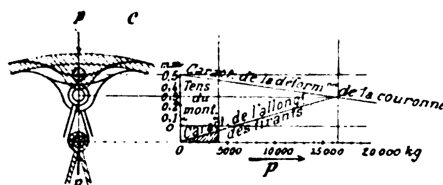


Fig. 29.

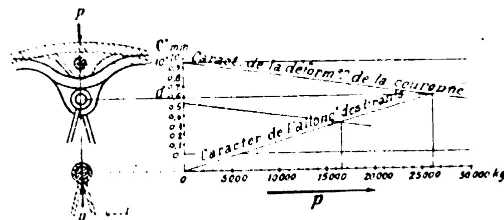


Fig. 30.

Fig. 27 à 30.

toires conduisent parfois à séparer l'inducteur du volant. La figure 32 représente un inducteur boulonné sur les bras du volant. La figure 33 représente la couronne de tôles dont il a été ques-

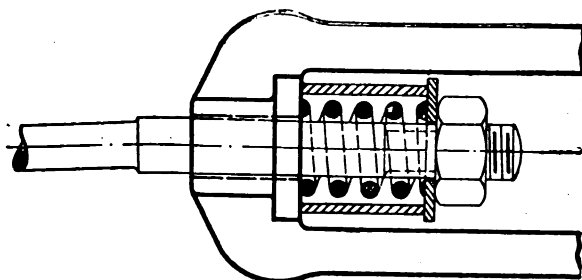


Fig. 31. Ressort de montage.

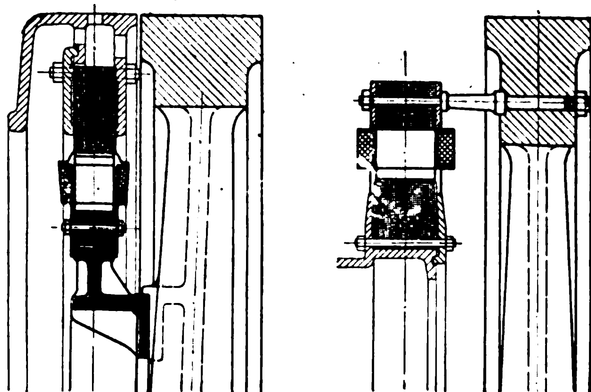


Fig. 32 et 33. — Alternateurs à inducteur non monté sur le volant.

tion, fixée par de longues tiges à la jante du volant. Ces tiges permettent à la couronne de tôle de se déformer indépendamment de la jante du volant, quoique les deux déformations soient sensiblement de même grandeur.

(*A suivre.*)

O. Lasche,

Ingénieur en chef de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DIÉLECTRIQUES

Déformation électrique du verre, par **Ercolini**. *Nuovo Cimento*, [5] t. II, juillet 1901.

Un cas intéressant de déformation électrique du diélectrique d'un condensateur est celui du condensateur cylindrique à armatures non adhérentes ; par exemple : un condensateur formé d'un tube de verre mince et de deux tubes métalliques coaxiaux ne le touchant pas, l'intervalle entre ces armatures et le verre étant rempli par un diélectrique fluide quelconque ; la formule relative à ce cas est [1] :

$$\frac{\Delta l}{l} = k_1 \frac{KH^2}{8\pi} \qquad (1)$$

en désignant par :

Δl l'allongement du tube de verre, produit par la charge du condensateur ;

H l'intensité du champ électrique dans le verre ;

K la constante diélectrique du verre [2] ;

k_1 le coefficient de variation de cette constante diélectrique par traction perpendiculaire aux lignes deforces. [3]

Cette formule présente ceci de particulier, que le coefficient k_1 y entre seul, tandis que dans toutes les autres formules de déformation électrique des diélectriques, interviennent non seulement k_1 (et k_2), mais encore les coefficients d'élasticité de la substance diélectrique (le verre) ; il s'ensuit, comme l'avait fait remarquer M. Sacerdote, qu'on a là un moyen commode pour élucider la question controversée du signe du coefficient k_1 : il suffira de constituer un condensateur comme il vient d'être indiqué et de voir comment se comporte le tube quand on charge le condensateur ; selon que ce tube s'allongera, se contractera ou gardera une longueur invariable, on pourra affirmer que k_1 est positif, négatif, ou nul.

C'est cette expérience que M. Ercolini vient de réaliser :

Le condensateur. — Un tube de verre A (fig. 1)

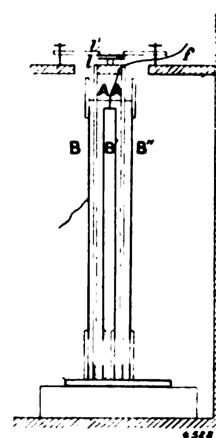


Fig. 1.

(choisi d'épaisseur bien uniforme) et deux tubes métalliques B' B'' (prolongés par des tubes de verre de quelques centimètres qui serviront d'isolants) sont mastiqués à leur partie inférieure dans un solide support de façon à ce que leurs axes coïncident aussi bien que possible.

Après avoir soigneusement desséché l'appareil, on remplit les intervalles qui séparent A des deux armatures avec du pétrole ou de l'huile d'olive, jusqu'à noyer B' de quelques centimètres ; on relie l'armature externe B'' au sol et on met l'interne B' en communication par un fil *f* avec une machine électrique ; un micromètre à étincelles permet d'apprécier le potentiel de charge. Voici les dimensions de l'un des appareils :

Diamètre extérieur de A (16,33 mm) ;

Diamètre intérieur de A (15,30 mm) ;

Distance entre A et les armatures (environ 2 mm) ;

Longueur des armatures (550 mm).

L'allongement du tube de verre était observé

---

[1] Voir Sacerdote : Sur un cas particulier de déformation électrique, (*Journ. de Phys.*, 3e s., t. X, p. 196, 1901.

[2] A noter que l'allongement du tube de verre est indépendant de la nature du diélectrique fluide ambiant.

[3] La détermination du coefficient k_1 a fait l'objet de plusieurs séries de recherches dans lesquelles on étudiait la variation de capacité que subit un condensateur cylindrique quand on le soumet à une traction (voir Sacerdote, *loc. cit.*, p. 200) ; mais ces recherches excessivement délicates ont donné des résultats contradictoires non seulement comme grandeur, mais même comme signe.

par la méthode de Fizeau : les franges d'interférence étant produites par la lumière du sodium entre une lame l portée par le tube A et une autre lame fixe l' soutenue par un trépieds à vis, qui repose sur une solide console en bois adaptée au mur ; on observe le déplacement des franges par rapport à cinq points de repère marqués sur l'.

L'appareil était protégé par des écrans contre le rayonnement calorifique extérieur.

Résultats. — Ces expériences, uniquement *qualitatives* ont donné les résultats suivants :

Tous les tubes de verre expérimentés ont subi au moment de la charge un allongement qui disparaissait par la décharge.

Cet allongement était nettement manifesté par un déplacement des franges, très sensiblement le même par rapport aux différents points de repère marqués sur l' ; il était d'autant plus grand que le potentiel de charge était plus élevé et le tube de verre plus mince (conformément à la théorie).

En outre de cet allongement, on observe des *déplacements latéraux* accusés par des mouvements des franges très irréguliers et en sens divers par rapport aux divers points de repère ; ces déplacements latéraux, qu'on n'a jamais pu éviter complètement, sont probablement dus à des inégalités d'épaisseur du tube de verre A et aussi à ce que les axes des trois tubes ne coïncident certainement pas rigoureusement.

La conclusion de ce travail est donc (1) :

Le *coefficient k_1 est positif*, c'est-à-dire la *constante diélectrique du verre augmente par traction perpendiculaire aux lignes de force.*

PAUL SACERDOTE.

Sur l'électrostriction : Réponse à une note de M. More (2) par **Cantone**.

Remarque au sujet d'une note de M. More, « sur la tension diélectrique », communiquée par l'auteur, **P. Sacerdote**.

A la suite d'expériences faites l'année dernière sur le condensateur cylindrique, expériences dans lesquelles il n'avait réussi à observer, au moment de la charge, aucun allongement du tube de verre formant le diélectrique de ce condensateur, M. More terminait son mémoire en mettant en doute l'existence des déformations électriques des diélectriques.

Cette conclusion paraît immédiatement bien invraisemblable, si l'on songe que de nombreux et habiles expérimentateurs, tels que Duter, Righi, Quincke, Cantone, etc., ont mis ces phénomènes en évidence par de nombreuses expériences et cela sous deux formes différentes (1).

1° Allongement du diélectrique d'un condensateur cylindrique ;

2° Accroissement de volume de la cavité d'un condensateur sphérique ou cylindrique (thermomètre condensateur (2), et ont même vérifié très exactement la relation suivante prévue par la théorie (3) : (I) dilatation cubique de la cavité d'un thermomètre condensateur = triple de la dilatation linéaire d'un condensateur cylindrique.

Dans un article paru dans ce journal (4) j'exa-

(1) Conformément à celle obtenue par une autre voie par MM. CANTONE et SOZZANI : Nouvelles recherches sur les déformations des condensateurs, voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVII, p. 75, 13 avril 1901.

(2) *R. C. del R. Istituto Lombardo* : 2e s, t. XXXIV, 1901.

(2) Je me rappelle que ces deux formes d'expériences mettent toutes deux en évidence la dilatation dans les directions perpendiculaires aux lignes de force, la première directement, la deuxième indirectement ; il suffit

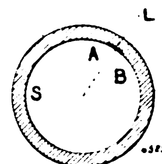


Fig. 1.

en effet de regarder la figure pour voir que l'allongement des éléments tels que AB perpendiculaire aux lignes de force, entraine forcément un accroissement de la surface S et par suite un accroissement de volume de la cavité.

(3) Rappelons qu'on met en évidence l'augmentation de volume de la cavité en adaptant au condensateur un tube capillaire et en prenant un liquide comme armature interne (il a ainsi la forme d'un gros thermomètre) ; au moment de la charge, on voit le liquide baisser dans le tube capillaire.

(4) Pour la théorie de ces phénomènes et la discussion des expériences, voir Sacerdote : Déformations électriques des diélectriques : *Annales de phys. et Chimie*, 7e s., t. XX, p. 289 ; *Éclairage Électrique*, 7 avril 1900.

(5) SACERDOTE : Sur les déformations des diélectriques, (*Écl. Élect.*, t XXVI, p. 332, 2 mars 1901).

minai alors les expériences de M. More et je montrai que la disposition et les dimensions insuffisantes de son appareil faisaient prévoir pour le tube un allongement correspondant à quelques divisions seulement de son micromètre (3 en général, 6 au plus) au lieu d'une trentaine qui formaient la prévision de M. More; — il semblait donc que l'insuccès de M. More devait être attribué à l'insuffisance de sensibilité de son appareil d'observation.

Dans une note toute récente, M. More s'efforce de répondre à mes critiques: [1]

1° Son appareil lui aurait permis, dit-il, d'observer des déviations de trois, une, et même un quart de division; et il n'y avait pas de déplacement du zéro, contrairement à ce que j'avais supposé;

2° Il croit pouvoir adresser certains reproches aux expériences de M. Cantone que je signalais comme celles offrant les plus grandes garanties.

3° Le fait que la relation (1) prévue par la théorie est exactement vérifiée par les expériences n'ajoute rien en faveur de celles-ci; car, dit-il « la relation (1) est bien prévue par la « théorie thermodynamique de M. Sacerdote, « mais elle est en contradiction avec la théorie « de Maxwell sur les tensions au sein des dié- « lectriques. »

Examinons rapidement ces trois arguments:

1° Puisque M. More l'affirme, je veux bien croire que son appareil présentait toute la sensibilité nécessaire pour lui permettre d'observer à coup sûr l'allongement du tube, si petit soit-il.

Mais alors, qu'il nous explique comment il se fait que M. *Ercolini* (voir le précédent article) *qui vient de répéter son expérience*, *avec la même disposition expérimentale*, mais en employant pour déceler l'allongement du tube la méthode si sûre des franges d'interférences, a *obtenu des résultats en contradiction absolue avec les siens:* tous les tubes de verre expérimentés par M. Ercolini ont en effet subi au moment de la charge, un allongement qui disparaissait par la décharge?

2° M. le professeur Cantone a répondu lui-même sur ce deuxième point qui le concerne plus particulièrement; dans la note signalée en tête de cet article, il réfute point par point les critiques adressées par M. More à ses expériences; puis il examine ensuite les expériences du physicien américain. Présentent-elles les mêmes garanties que les siennes? il ne le croit pas et en particulier il reproche à M. More de ne pas s'être suffisamment mis à l'abri de l'influence des variations de la température ambiante; — en outre, il fait observer que dans un essai préliminaire où M. More vérifiait l'exactitude et la sensibilité de son appareil d'observation en l'employant à déterminer le module d'élasticité de son tube de verre, il a obtenu pour ce module la valeur $2{,}7 \times 10^{11}$, inférieure d'environ moitié à celle généralement adoptée pour le verre;

3° Arrivons à ce troisième point, le seul qui me concerne personnellement: *M. More se trompe de la façon la plus absolue* quand il dit:

« La relation (1) trouvée expérimentalement « par Quincke, Cantone, est en contradiction « avec la théorie de Maxwell, tandis qu'elle « s'accorde avec la théorie de M. Sacerdote. »

J'ai en effet montré ailleurs [1], qu'au contraire, tous les résultats que j'obtiens dans ma théorie thermodynamique des déformations électriques des diélectriques (et en particulier la relation visée) sont en parfait accord avec ceux que l'on déduirait de la théorie des tensions de Maxwell. — L'erreur de M. More provient de ce qu'il confond, à tort, dans son raisonnement [2]: — dilatation cubique de la *cavité* d'un thermomètre condensateur, avec — dilatation cubique de la matière diélectrique (le verre) formant la *paroi* de cette cavité.

Paul Sacerdote.

---

[1] More: Note on Dielectric Strain; *Phys. Mag.*, 6e s, t. II, p. 527, nov. 1701; voir l'analyse: *Écl. Élect.*, t. XXIX, p. 493, 28 déc. 1901.

[1] Sacerdote: *Annales de phys. et chimie*, 7e s., t. XX, 1900.

[2] Voici en effet le résumé du raisonnement de M. More: « Les tractions et pressions qui, dans la théorie de Maxwell, s'exercent sur un élément diélectrique dans les directions perpendiculaires ou parallèles aux lignes de force produiront sur le volume de cet élément, un effet différentiel; d'où il résulte que le changement de volume sera plus petit que le changement de longueur dans les directions perpendiculaires aux lignes de force, au lieu d'en être le triple comme l'exige la relation (I). »

Mais on voit immédiatement que ce raisonnement de M. More s'applique uniquement au volume de la matière diélectrique (le verre) et non pas au volume de la cavité, seul visé par la relation (I).

Sur l'énergie dissipée dans les diélectriques soumis à des champs alternatifs, par **P.-L. Mercanton**. *Journal de Physique*, [4], t. I, p. 33-40, janvier 1901.

L'auteur commence par rappeler les quelques points définitivement acquis sur cette question ; ce sont : 1° La dissipation de l'énergie dans les diélectriques est étroitement liée au résidu; la coexistence de ces deux ordres de propriétés force à leur assigner la même origine et à n'accorder d'attention qu'aux théories susceptibles de les expliquer l'un et l'autre. 2° La dissipation, comme le résidu apparait tout spécialement dans les diélectriques contenant des impuretés plus ou moins conductrices; elle est fonction de l'intensité et de la vitesse de variation du champ.

Passant aux méthodes de mesures, l'auteur les divise en : 1° méthodes thermiques où l'on mesure la quantité de chaleur dégagée dans le diélectrique d'un condensateur alternativement chargé et déchargé (Kleiner, Düggelin, Houllevigne, etc.); 2° méthodes mécaniques : entraînement d'un diélectrique suspendu dans un champ tournant, amortissement du diélectrique dans un champ fixe (Arno, Schauffelberg, Threlfall); 3° méthode consistant à déterminer point par point la courbe des charges d'un condensateur en fonction de potentiels variant suivant un cycle connu (Beaulard).

M. Mercanton a appliqué cette dernière méthode. En voici le principe : Les potentiels de charge sont obtenus à l'aide d'une dérivation mobile le long d'un courant constant; le condensateur est déchargé dans un galvanomètre balistique au moment où le potentiel a la valeur voulue V. S'il y a consommation d'énergie dans le diélectrique, la charge est plus grande, pour une valeur de V donnée, quand cette valeur est atteinte par des potentiels décroissants que quand elle est obtenue par des potentiels croissants. En portant en ordonnées les déviations α proportionnelles aux charges, et en abscisses les potentiels, on obtient une courbe fermée dont l'aire représente l'énergie consommée dans le diélectrique.

Le dispositif expérimental employé par l'auteur diffère de celui de M. Beaulard par quelques détails [1].

Résultats. — Des essais faits avec une durée cyclique de 1 seconde et sous des potentiels maximum compris entre 63 et 68 volts ont donné les résultats suivants :

Des plaques de 3 à 4 mm d'épaisseur de paraffine pure, de paraffine additionnée de 10,5 p. 100 environ de divers corps (aluminium en poudre, charbon de lampe en poudre, graphite, colophane, soufre) d'une composition isolante de Berthoud, Borel et Cie, de paraffine et de sciure de bois séchée huit jours, une lame de mica blanc de 0,10 mm d'épaisseur, n'ont donné lieu qu'à une perte d'énergie inappréciable.

Il en a été de même avec une plaque de paraffine-colophane et une plaque de composition Berthoud, Borel et Cie, superposées; résultat contraire à une allégation de Muraoka, que deux diélectriques sans résidu en donnent un quand on les met au contact.

De même encore pour l'huile de vaseline pure.

En délayant dans cette huile 5,9 p. 100 de noir de fumée brut, la perte devient notable ; le rapport r de la déviation α_m, correspondant à

[1] Un arbre portait un conducteur radial isolé dont l'extrémité plongeait dans l'eau acidulée d'une rigole en paraffine, de section aussi constante que possible.

Sur un même diamètre, deux électrodes de platine amenaient le courant constant d'une série de petits accumulateurs. Deux autres électrodes reliaient à la terre les extrémités du diamètre à 90° du premier.

De la sorte, le condensateur, relié au plongeur par l'intermédiaire d'une bague isolée et d'un balai, était soumis à un cycle de potentiels variant linéairement entre $+V_{max}$ et $-V_{max}$ en passant deux fois par zéro.

Un organe spécial commandait électriquement la commutation au moment où le potentiel voulu était atteint. Cet appareil comprenait un disque A en laiton, monté à demeure sur l'arbre, et auquel un ressort amenait constamment le courant auxiliaire ; un autre disque B, en fibre, reposant sur A et portant sur une de ses génératrices une languette de laiton, en contact permanent avec A. Un ressort fixe à pointe de platine appuyait sur le pourtour, gradué à 300 parties, de ce disque. C'était le passage de la languette sur ce ressort qui déterminait la commutation. On réglait celle-ci en serrant le disque B sur le disque A après avoir amené la division convenable en regard d'un trait de repère tracé sur A.

La languette se trouvait passer sous la pointe à l'instant précis où le plongeur arrivait au point voulu. On pouvait ainsi obtenir 200 points du cycle.

La rotation de l'arbre, obtenue à l'aide d'un moteur à eau sous pression et de renvois, était remarquablement constante et pouvait varier entre $\frac{1}{50}$ et quatre tours par seconde.

la décharge sous potentiel maximum, et de la déviation α_0 correspondant à la décharge sous potentiel nul, était égal à 0,007. La même huile filtrée, deux mois après, a donné $r = 0,03$.

Parmi les solides qui ont manifesté une viscosité sensible, l'auteur mentionne : le celluloïd ($r = 0,065$), le verre à vitre (0,038), les mélanges de paraffine et de noir de fumée brut (r augmentant de 0,013 à 0,380 quand la teneur en noir croît de 1 à 9,4 p. 100; un mélange à 10 p. 100 de noir débarrassé de la plus grande part de ses goudrons par lavage à l'alcool et à la benzine, n'a donné que $r = 0,074$), la glace [1].

Les actions mécaniques (trépidation, chocs, etc.) qui, dans le magnétisme, interviennent pour réduire l'hystérésis et qui, dans les condensateurs à résidu, facilitent la réapparition des charges, n'exercent pas d'action sensible sur la perte d'énergie dans un mélange de paraffine et de 9,4 p. 100 de noir de fumée.

Si l'on fait varier la fréquence T entre 0,25 et 50 secondes, la perte d'énergie avec ce dernier mélange passe par un maximum très net aux environs de T = 3 secondes [2].

Si, la fréquence restant constante, on augmente le potentiel maximum la perte d'énergie croît rapidement avec la valeur de ce potentiel [3]; en prenant les chiffres trouvés avec le mélange précédent. M. Mercanton que la formule $W = a V_{max}^2$, adoptée par plusieurs auteurs pour représenter leurs résultats, ne donne pas des valeurs de W croissant aussi rapidement que celles que donnent ses expériences [1].

J. Reyval.

[1] En opérant sur des lames de glace taillées normalement à l'axe optique du cristal et exposées à l'air sec et froid du dehors, l'auteur a constaté une consommation d'énergie très considérable, comme l'indique le tableau suivant :

Température moyenne	V_{max}	Energie par cm³
—4°0C	6 volts	60.10⁻¹⁰ joule
—4°8	8 —	55 —
—8°5	8 —	233 —

[2] Il est à remarquer que les théories les mieux étayées sur l'expérience font prévoir que la perte d'énergie est maximum pour une certaine fréquence et s'annulle pour des fréquences nulles et infiniment grandes. Ce maximum a été reconnu par Eister sur un condensateur en papier paraffiné ; les courbes de M. Beaulard n'en présentaient pas.

[3] Pour T = 1 et des potentiels maximum de 16,7, 34 et 68 volts, M. Mercanton a trouvé :

V_{max}. .	16,7 V	34 V	68 V
W. . .	$77,5.10^{-10}$j	419.10^{-10}j	2052.10^{-10}j

Pour T = 20 secondes, il a obtenu :

V_{max}.	34 V	64 V
W.	266.10^{-10}j	1380.10^{-10}j

[1] L'auteur termine son article par l'index bibliographique suivant :

Hess, *Éclairage Électrique*, III, 1895.

J. Curie. *Annales de Chim. et Phys.*, 1889. *J. de Phys.*, 2e série, t. IX, p. 391, 1890.

Houllevigne, *Annales de l'Université de Lyon*, 1897. *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 113, 120; 1897.

Du Bois-Raymond, *Monatsberichte Berliner Akademie*, 1856 et 1859.

Porter et Morris, Mémoire à la Société royale de Londres, *Proc. R. S.*, 2 mars 1895. *J. de Phys.*, 3e série, t. V, p. 34 ; 1896.

Beaulard, Sur l'hystérésis des diélectriques. *Annales de l'Université de Grenoble*, 1900. *J. de Phys.*, 3e série, t. IX, p. 422 ; 1900.

Kleiner, *Viertel jahrschrift der Naturforschenden Gesellschaft*, Zürich, XXXVII, 1893.

Arno, R.-C., *Acad. dei Lincei*, 1892 et 1893. *Lumière électrique*, XLVI et XLIX. *J. de Phys.*. 3e série, t. III, p. 574 ; 1894.

Schauffelberg, Thèse Zürich, *Ann. Wied.*, LXV, 1898.

Threlfall, *Phys. Review*, juillet 1897. *J. de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 696 ; 1897.

Pellat, Polarisation réelle des diélectriques. *Ann. Chim. et Phys.*, 7e série, t. XVIII. 1899. *J. de Phys.*, 3e série, t. IX, p. 313 ; 1900.

Pellat et Beaulard, *Comptes rendus, Acad. des Sciences*, 28 mai 1900. *J. de Phys.*, 3e série, t. X, p. 642 ; 1901.

Muraoka, *Wied. Annalen*, III, 1890. *J. de Phys.*, 2e série, t. X, p. 542 ; 1891.

Eister, *Zeitschrift für Elektrotechnik*, Heft XII ; juin 1895.

MESURES

Pyromètres Siemens et Halske A. G.

Pyromètre optique. — Le pyromètre optique de Siemens et Halske se compose essentiellement (fig. 1) d'une lunette munie d'une lampe à incandescence G placée dans le plan focal de l'objectif L_1; cette lampe est en série avec une résistance W variable d'une manière continue, un ampèremètre de précision A et deux éléments d'accumulateur E. La résistance W est montée sur le pied de la lunette et le contact glissant qui en règle la variation permet, par suite de sa disposition, d'obtenir un important changement de résistance à l'aide d'une faible

rotation ; un petit interrupteur est placé là. Pour la mesure des températures à partir de 800°, un verre rouge R est placé devant l'oculaire L_2 afin de ne laisser parvenir jusqu'à l'œil que les radiations ayant sensiblement la même longueur d'onde, ce qui est indispensable pour obtenir une bonne compensation photométrique. En principe la méthode consiste dans la comparaison photométrique de l'intensité des radiations de la source de chaleur à mesurer avec celles de la lampe à incandescence [1] ; ce pyromètre est utilisable entre 600° et 1900°.

S'il s'agit seulement de mesures de comparaison, suffisantes en général dans la pratique,

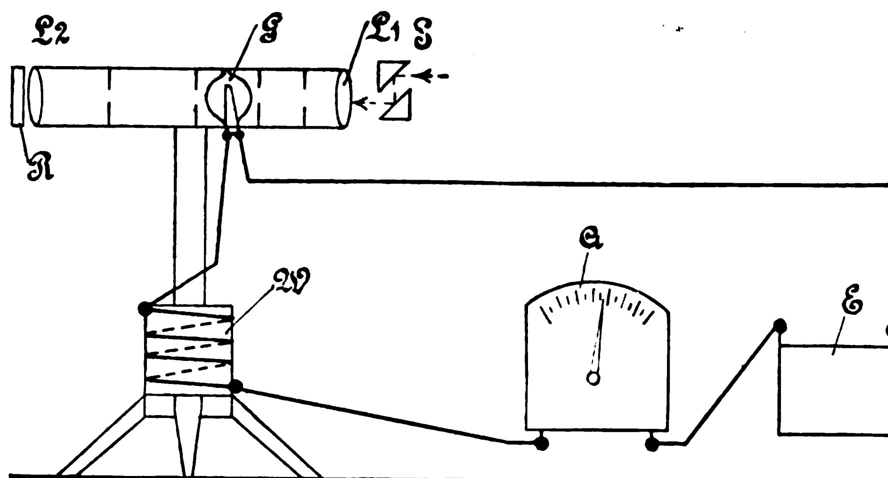


Fig. 1. — Pyromètre optique Siemens et Halske.

c'est-à-dire si l'on n'a pas besoin de connaître la valeur numérique de la température, on peut employer ce pyromètre jusqu'aux plus hautes températures en affaiblissant la lumière par réflexion sur deux prismes placés en avant de l'objectif. La valeur de la température pourrait même dans ce cas être déterminée par une graduation antérieure.

Pour l'emploi du pyromètre optique, il suffit donc que l'on puisse voir une partie du corps dont on veut mesurer la température ; le four aura, par exemple, une ouverture de quelques centimètres qui pourra être refermée par un verre. La mesure se fait de la façon suivante : on vise avec l'oculaire le fil de la lampe à incandescence, puis on dirige la lunette sur le foyer et l'on règle l'intensité lumineuse de la lampe en agissant sur le rhéostat W jusqu'à ce que le fil disparaisse complètement dans le champ lumineux produit par le foyer. L'échelle de température de l'ampèremètre donne la température cherchée.

Pyromètre thermoélectrique. — Le pyromètre thermoélectrique de Siemens et Halske pour hautes températures est constitué par un couple Le Chatelier (platine et platine rhodié à 10 p. 100); pour les basses températures, c'est le couple cuivre-constantan qui est employé.

Le millivoltmètre (fig. 2) qui sert à la mesure comporte un organe mobile avec simple suspen-



Fig. 2. — Millivoltmètre portatif pour les mesures thermoélectriques.

sion unifilaire. L'échelle de lecture est à deux graduations : l'une en millivolts peut servir pour la vérification de l'instrument ; l'autre en degré est établie suivant les données du Reichsanstalt d'après les dernières recherches de

(1) Voir les recherches de Holborn et Kurlbaum.

Holborn et Day. L'aiguille a la forme d'une très mince lame verticale ; elle oscille au-dessus d'un miroir et la lecture se fait en plaçant l'œil de façon à faire concorder l'aiguille et son image.

Par suite de la résistance élevée de l'appareil — 450 ohms environ, — la résistance des fils qui le relient au couple est généralement négligeable, à moins qu'il ne s'agisse de grandes longueurs.

Le fort amortissement du galvanomètre permet de bien suivre les variations de température. Un niveau circulaire à bulle d'air sert à mettre rapidement l'appareil en place à l'aide des trois pieds à vis calantes ; un dispositif permet d'immobiliser l'aiguille pour le déplacement du millivoltmètre.

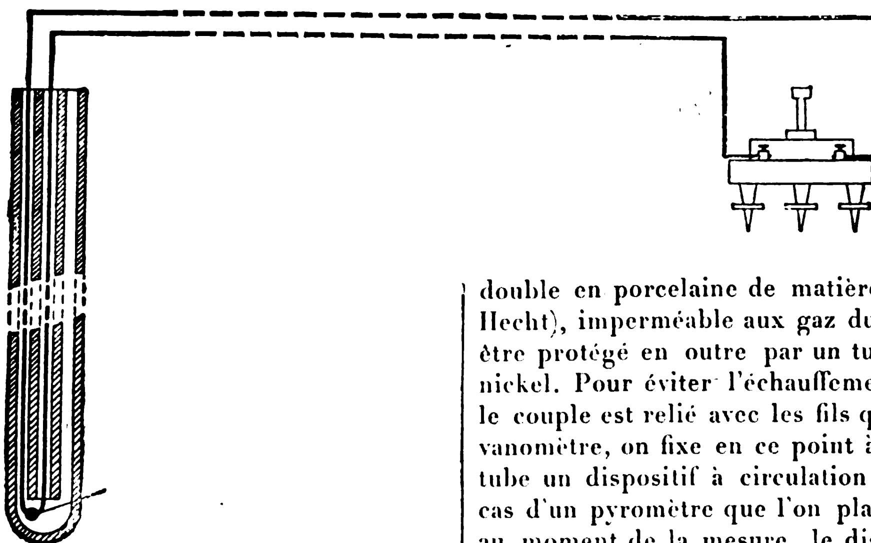


Fig. 3. — Pyromètre thermoélectrique Siemens et Halske.

Le couple (fig. 3) est renfermé dans un tube double en porcelaine de matière spéciale (pâte Hecht), imperméable aux gaz du foyer, il peut être protégé en outre par un tube de fer ou de nickel. Pour éviter l'échauffement du point où le couple est relié avec les fils qui vont au galvanomètre, on fixe en ce point à l'extrémité du tube un dispositif à circulation d'eau. Dans le cas d'un pyromètre que l'on place dans le four au moment de la mesure, le dispositif réfrigérant est établi en forme de garde à épée de façon à protéger la main de l'opérateur contre le rayonnement du four (fig. 4).

Pyromètre enregistreur. — L'enregistreur de température (fig. 5) est constitué par un pyromètre à voltmètre combiné avec l'enregistreur universel de Siemens et Halske. Un mouvement d'horlogerie déplace dans deux directions perpendiculaires une bande de papier transparent et une bande de papier bleu à impression. L'aiguille du galvanomètre est munie d'une petite pièce qui vient s'appuyer sur la bande de papier sous l'action d'une pièce métallique affectant la forme d'un arc de cercle concentrique à la suspension. Cet arc, abaissé à des intervalles de temps égaux à une minute, presse l'aiguille indicatrice sur la bande de l'enregistreur et sur le bleu ; le point marqué se voit par transparence.



Fig. 4.

Un arrêt permet d'interrompre le mouvement périodique de l'arc de cercle pour changer la bande de l'enregistreur. La vitesse de déplacement de cette bande est de 2 cm à l'heure et le rouleau est de 45 m.

Dispositif de contrôle des mesures pyrométriques. — D'après les données du professeur Lindeck, la Société Siemens et Halske a établi pour les mesures de contrôle du Reichsanstalt un appareil qui peut trouver emploi également dans les laboratoires et dans la pratique industrielle.

La méthode bien connue d'ailleurs consiste à

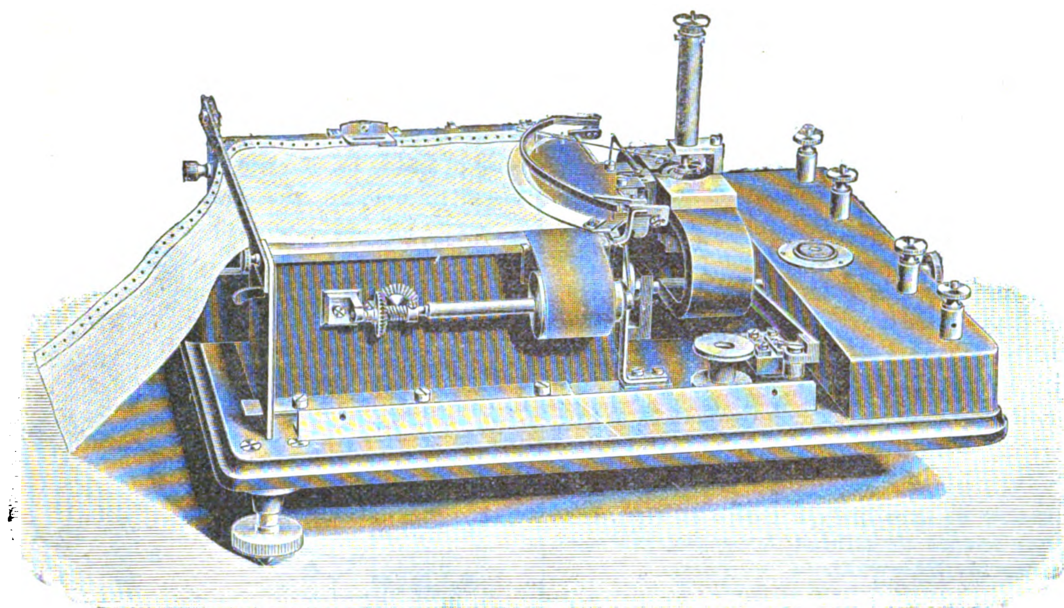


Fig. 5. — Pyromètre enregistreur Siemens et Halske.

opposer à la force électromotrice à mesurer du couple thermoélectrique une différence de potentiel réglable. Cette force électromotrice T (fig. 6) est fermée sur un galvanomètre G et une résistance bien déterminée, de 0,1 ohm par exemple; en dérivation sur cette résistance est un accumulateur A dans le circuit duquel se trouve un milliampèremètre M et une résistance variable W. On fait varier cette résistance jusqu'à ce que le galvanomètre n'indique plus aucune déviation. La force électromotrice T est alors égale au produit de la résistance W par l'intensité mesurée en M. Toute l'exactitude des

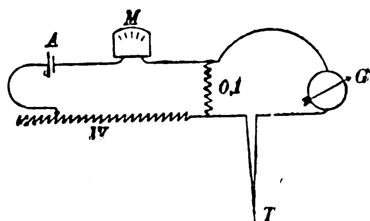


Fig. 6.

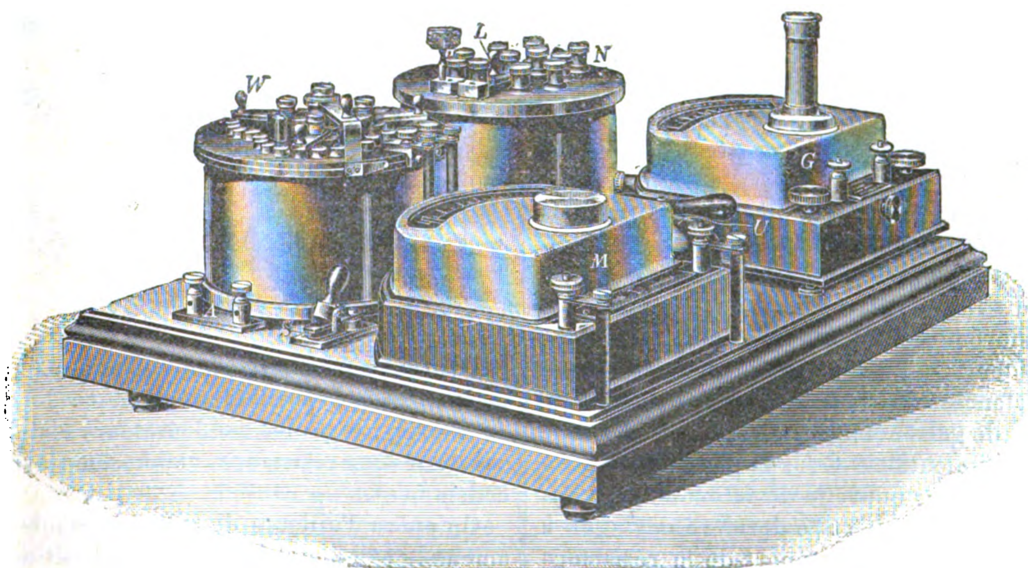


Fig. 7. — Appareil de contrôle Siemens et Halske pour mesures pyrométriques.

mesures repose sur la précision du milliampèremètre. La résistance W (fig. 7) est composée de 3 décades (100, 10 et 1 ohms) commandées chacune par une manette et d'une résistance formée d'un fil de 1,5 ohm environ disposé sur le tour de la plaque qui forme couvercle ; cette dernière résistance est commandée par une manette qui passe au-dessus des trois précédentes.

A la place de la résistance de 0,1 ohm, on emploie de préférence une boîte N comprenant plusieurs résistances de moindre valeur ; cette disposition permet d'employer le milliampèremètre dans les meilleures conditions de sensibilité. G. Goisot.

Ohmmètre et faradmètre Gans et Goldschmidt pour essais de câbles. Renseignements communiqués par **M. Palewski**.

L'ensemble de l'appareil comprend : un galvanomètre à miroir, type Deprez-d'Arsonval, représenté en G sur les schémas ci-joints ; un shunt S pour ce galvanomètre ; une batterie d'éléments de pile B pouvant donner jusqu'à 150 volts ; un commutateur inverseur I permettant de changer le sens du courant ; un commutateur à deux directions C que l'on peut mettre dans la position marquée « normale » ou dans celle marquée « câble » ; une clef d'opération O ; enfin deux résistances étalonées de chacune 50 000 ohms et deux condensateurs étalonnés de 1,5 microfarad. Tous ces instruments et appareils sont renfermés dans une caisse en acajou vernie dont le couvercle est percé des ouvertures strictement nécessaires pour opérer les connexions. La boîte a 62 cm de longueur, 44 cm de largeur et 25 cm de hauteur. L'ensemble pèse 22 kg, ce qui permet d'en effectuer facilement le transport.

La figure 1 représente le montage pour la mesure de la résistance d'isolement. Le commutateur C étant dans la position « normale » et le shunt du galvanomètre étant disposé pour une valeur moyenne de la déviation, on abaisse le commutateur O. Le courant qui traverse la ou les résistances de 50 000 ohms produit une déviation du galvanomètre que l'on note. Ensuite on met le commutateur C sur la position « câble » et l'on observe la nouvelle déviation du galvanomètre. Le rapport de cette dernière déviation à la première fournit le rapport de la résistance d'isolement du câble à la résistance étalon, le galvanomètre donnant des déviations proportionnelles à l'intensité du courant qui le traverse. Dans le cas où la déviation obtenue dans la seconde phase de la mesure serait trop faible ou trop grande, on modifie la sensibilité du galvanomètre à l'aide du shunt de manière à avoir

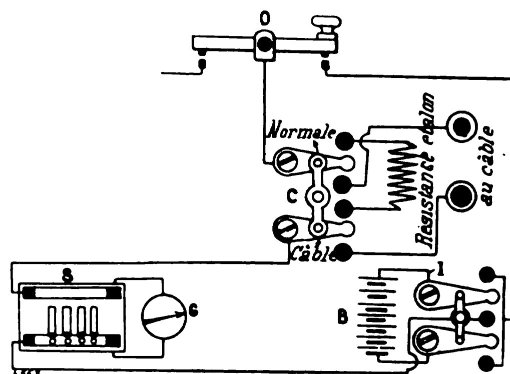


Fig. 1.

une déviation moyenne ; pour avoir la résistance d'isolement du câble, le rapport des déviations observées dans les deux phases de la mesure doit alors être multipliée par un facteur dépendant des résistances shuntant le galvanomètre. On peut sans difficulté mesurer des résistances d'isolement allant jusqu'à 5 000 mégohms

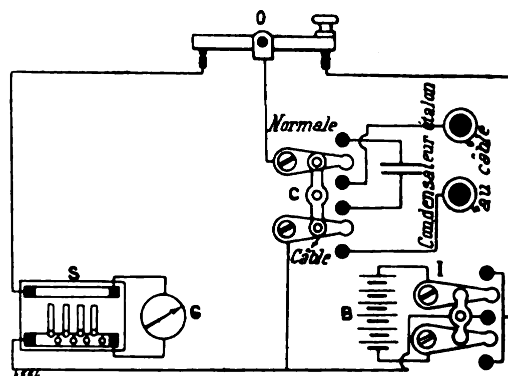


Fig. 2.

La figure 2 montre les connexions pour la mesure de la capacité d'un câble par le courant de charge ; le ou les condensateurs étalons sont substitués aux résistances étalons employées précédemment.

On opère d'ailleurs de la même manière : On amène le commutateur C dans la position « normale », et on abaisse la clef O ; le condensateur

étalon se recharge. On abandonne la clef O; le condensateur se décharge et on observe l'impulsion galvanométrique. On met le commutateur C sur la position « câble »; on appuie sur O pendant le même temps que dans la phase précédente de la mesure, puis on l'abandonne et on note l'impulsion galvanométrique. Le rapport des impulsions donne le rapport des capacités des condensateurs étalons et du câble.

La mesure de la capacité peut se faire au moyen du courant de charge; dans ce cas on

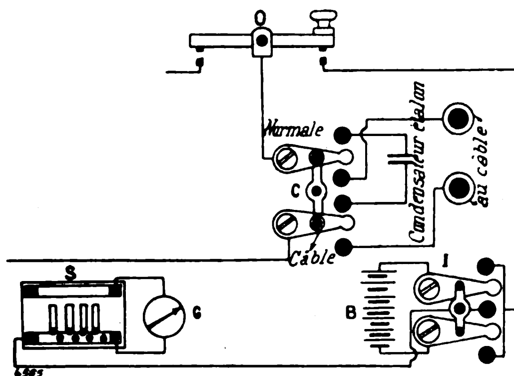


Fig. 3.

effectue le montage comme l'indique la figure 3 et l'on opère comme dans le cas précédent.

Ajoutons que le galvanomètre peut être utilisé indépendamment du reste de l'appareil; dans ce but il porte deux bornes extérieures à la boîte. Ce galvanomètre, très sensible, est éclairé par une petite lampe à incandescence de 6 volts placée à l'intérieur de la boîte et qu'alimente une petite batterie extérieure. Le rayon réfléchi est reçu sur une échelle de celluloïd de 400 mm de longueur. J. R.

Méthode de mesure de l'angle de décalage et du facteur de puissance, au moyen d'un voltmètre, par **George T. Hanchett**. *Electrical World and Engineer*, Vol. XXXVIII, p. 718, 2 novembre 1901.

Il arrive parfois qu'au cours d'une expertise on se trouve dans la nécessité de déterminer la valeur du facteur de puissance sur un circuit de distribution d'énergie, sans avoir, sous la main, d'autre instrument de mesure qu'un voltmètre à courant alternatif. Pour parer à cet inconvénient, M. G. T. Hanchett a imaginé la méthode décrite ci-dessous.

Cette méthode n'offre d'intérêt que si la charge du circuit et le facteur de puissance sont invariables : c'est le cas d'une simple résistance inductive montée sur un circuit à potentiel constant, ou encore, le cas d'un moteur d'induction actionnant un ventilateur ou un autre appareil à charge constante. Pour appliquer la méthode, il y a lieu d'effectuer trois mesures et un calcul très court, et d'adopter certains dispositifs d'expérience que nous allons décrire. La figure 1 donne le schéma des connections à effectuer.

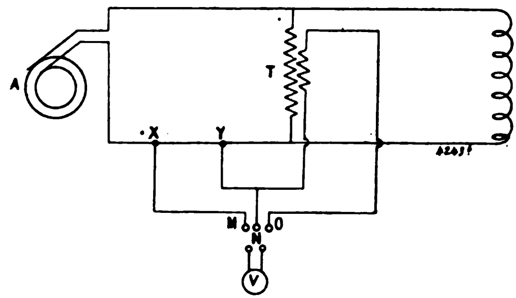


Fig. 1.

A, Alternateur; B, Charge inductive; T, Transformateur de tension, de capacité convenable et qui ne doit pas être chargé.

Du circuit principal partent deux dérivations X, Y, formées chacune d'un conducteur de faible longueur, de faible résistance, et non inductif, formé par une portion de fil rectiligne.

Sur le noyau du transformateur sont enroulées quelques spires de fil constituant le secondaire basse tension; ces spires doivent être formées d'un fil très fin, et n'exigent pas une forte isolation : un double guipage de coton suffit.

Quelle que soit la méthode employée, il est nécessaire que les spires du secondaire soient peu nombreuses pour que le voltage obtenu soit peu élevé.

Le voltmètre doit être un instrument établi pour des lectures de peu d'étendue. On insère en série avec l'appareil une résistance non inductive suffisante pour qu'une variation de quelques volts occasionne une déviation correspondant à toute l'étendue de l'échelle.

Ces dispositifs arrêtés, on procède de la façon suivante :

On relie le voltmètre aux bornes N et O du

transformateur, et on note la déviation m de l'aiguille. Puis, au moyen d'un commutateur, on relie le voltmètre aux bornes M et N et l'on règle la distance qui sépare les points X et Y jusqu'à ce que l'appareil indique la même déviation que celle (m) obtenue dans la première lecture.

Si les circuits MN et ON sont reliés en série, les deux forces électromotrices s'ajouteront, et un voltmètre relié aux bornes du circuit ainsi formé indiquera, comme déviation, la résultante de ces deux forces électromotrices. Il est clair que si ces dernières sont couplées en opposition, et sont en concordance de phase, leur résultante sera nulle ; si au contraire elles sont couplées en tension, leur résultante sera

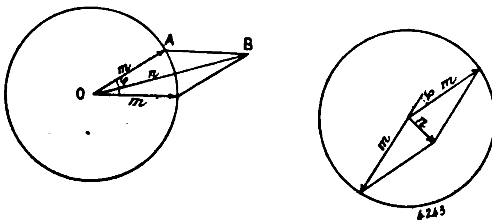


Fig. 2.

2 m. Si, cependant, le courant est décalé en avant ou en arrière, la résultante aura une valeur différente, due à ce fait que les deux forces électromotrices ne sont pas en concordance de phase. Désignons par n cette résultante.

La figure 2 représente graphiquement le cas des forces électromotrices couplées en tension, et la figure 3 celui des forces électromotrices couplées en opposition.

De ces diagrammes on peut déduire, par les formules trigonométriques ([1]), la valeur du facteur de puissance cherché.

Dans le premier cas. $\cos \varphi = \frac{n^2}{2m^2} - 1.$

Dans le deuxième cas. $\cos \varphi = 1 - \frac{n^2}{2m^2}.$

On déduit de l'une ou lautre de ces formules la valeur de l'angle de décalage φ.

Il est préférable de coupler les forces électromotrices en conjonction plutôt qu'en opposition, parce que la troisième déviation n mesurée est alors plus grande, et permet une lecture meilleure sur l'échelle du voltmètre, car les indications d'un voltmètre à courant alternatif, dans le voisinage du zéro, sont très incertaines.

Il est évident aussi que, si les conditions dans lesquelles se fait l'expérience peuvent changer, les trois mesures doivent être effectuées dans un intervalle de temps aussi court que possible ; et, dans ce but, il convient de disposer, comme l'indique la figure 1, un interrupteur à deux directions permettant de reporter rapidement le voltmètre d'un circuit à l'autre.

Le nombre de spires de l'enroulement secondaire du transformateur doit être choisi de telle sorte qu'il donne une force électromotrice correspondant pratiquement à la moitié de l'étendue de l'échelle du voltmètre, car, si cette force électromotrice était plus grande, la valeur de n serait assez grande pour que la lecture à faire sortît des limites de l'échelle de l'instrument.

Le méthode ci-dessus décrite se recommande surtout pour sa rapidité ; elle est cependant exacte théoriquement, et applicable en pratique, sous certaines conditions.

G. Roesch.

([1]) Dans le triangle obliquangle OAB (fig. 2) on a :

$$m^2 = n^2 + m^2 - 2mn \cos \frac{\varphi}{2}$$

d'où l'on tire $\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{n}{2m}$

D'autre part on a : $\cos \varphi = 2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} - 1.$

En substituant à $\cos \frac{\varphi}{2}$ la valeur ci-dessus, on obtient celle de $\cos \varphi$.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXX. Samedi 29 Mars 1902 9e Année. — N° 13.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES TRAINS A AUTOMOTRICES MULTIPLES

COMMANDÉES D'UN SEUL POINT

Dans un précédent article (1), nous avons indiqué les caractères généraux et l'historique des systèmes employés pour la commande d'un train formé de voitures dont plusieurs sont automotrices ; dans celui-ci, nous décrirons l'un de ces systèmes, le système Sprague, mais auparavant nous ferons ressortir les caractères qui le différencient du système Thomson-Houston.

Systèmes Sprague et Thomson-Houston. Principes et caractères distinctifs. — On sait quelles manœuvres est appelé à faire le mécanicien d'une voiture électrique de tramway, et de quels appareils il dispose pour les faire : En dehors des appareils d'arrêt et de freinage, dont nous ne nous occuperons ici qu'incidemment, il effectue les *changements de direction* au moyen d'un *inverseur*, et il fait la *mise en marche progressive* au moyen d'un *régulateur de vitesse*, ces deux organes étant ordinairement des cylindres à touches conductrices qui tournent entre des frotteurs fixes, le tout concentré généralement dans un seul appareil appelé contrôleur ou *combinateur*.

Tous nos lecteurs reconnaîtront dans la figure 1 le type général du combinateur de tramway, la petite manette supérieure de droite commandant le cylindre inverseur et la manivelle plus grande de gauche étant celle du cylindre principal ou régulateur de vitesse.

Ce combinateur est admirablement approprié à la commande à main d'un équipement

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 113, 25 janvier 1902.

électrique, et il est probable qu'une disposition aussi bien appropriée au but et aussi éprouvée sera définitive, au moins pour tous les équipements dont la puissance ne dépassera pas trop celle des locomotives électriques actuelles (du type Ouest ou Orléans, par exemple).

Cet appareil étant reconnu propre à la régulation de marche de chaque voiture, on pouvait le conserver pour chacune des automotrices d'un train Sprague, à condition qu'il fût commandé automatiquement sur toutes les voitures : c'est ainsi que Sprague a fort ingénieusement remplacé chaque mécanicien par un *servo-moteur double :*

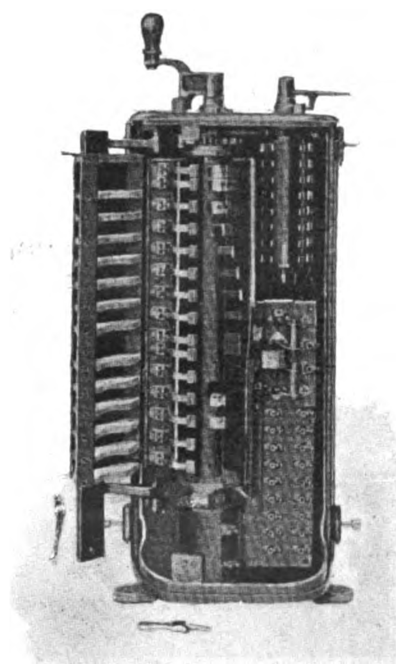


Fig. 1.
Combinateur série-parallèle pour tramway.

Servo-moteur inverseur, c'est-à-dire à double solénoïde commandant le petit cylindre, par un mouvement d'oscillation facile à réaliser ;

Et *servo-moteur principal*, commandant le cylindre régulateur en l'entraînant, dans un sens ou l'autre, dans une rotation de grande amplitude, et l'arrêtant dans un nombre déterminé de positions. Un solénoïde ou un jeu de solénoïdes ne suffit plus à ces difficiles fonctions : c'est un moteur-pilote qui les accomplit (1).

L'utilisation d'un mouvement de rotation pour la mise en œuvre du combinateur offrait des difficultés, qui sont toutes heureusement surmontées dans le système Sprague.

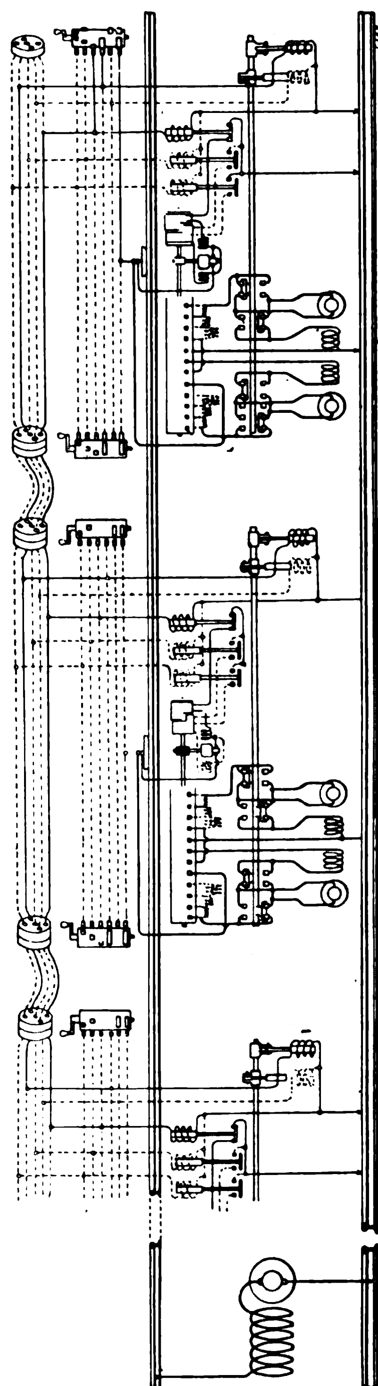


Fig. 2. — Schéma général du système Sprague.

(1) A l'opposé des autres inventeurs, Sprague ne s'est pas attaché à rendre les mouvements des différents combinateurs d'un train absolument synchrônes, comme il aurait pu le faire. Il estimait en effet qu'il valait mieux laisser la possibilité au déplacement de chaque combinateur d'être réglé d'après les conditions particulières dans lesquelles se trouvent les moteurs de sa voiture, au moyen d'un relais limiteur dont nous aurons à parler par la suite. Il prétend d'ailleurs que le léger espace de temps entre les mises en mouvement des divers combinateurs ne peut avoir d'autre effet que de diminuer sensiblement l'afflux total de courant du train au démarrage. *Cette observation, qui nous est communiquée par la Société Sprague, découle évidemment du principe d'automaticité que nous exposons, cette automaticité étant elle-même une conséquence de la commande du combinateur par un moteur rotatif.*

Elle avait comme caractère propre de se prêter à une *automaticité* facile et M. Sprague en a fait une revendication de son système. Aussi a-t-il réduit à une extrême simplicité l'appareil de commande laissé au mécanicien, et qui lui sert à provoquer, en même temps que la mise en position de l'inverseur, une succession donnée de mouvements que le moteur-pilote et ses relais seuls déterminent ensuite, bien que le mécanicien reste maître de l'enrayer par un retour au o. ou par un arrêt aux vitesses intermédiaires.

Au contraire, le mécanicien d'un train à unités multiples Thomson-Houston manœuvre à la main un contrôleur analogue à ceux qui effectuent automatiquement, dans le système Sprague, les combinaisons successives des résistances et des moteurs (fig. 2) ; mais, au lieu d'agir directement sur ceux-ci, ce contrôleur envoie le courant, sur chaque voiture motrice, à des électro-aimants qui commandent les résistances et les moteurs de cette voiture, et qui suivent pas à pas, pour ainsi dire, le mouvement imprimé par le mécanicien à la manivelle de commande. Dans ce système, il y a synchronisme absolu des manœuvres sur les différentes voitures. En même temps que l'extrême simplicité du système, il faut bien comprendre ce caractère essentiel qui le différencie du système Sprague : c'est qu'il procède par *impulsions successives imprimées à des servo-moteurs entièrement asservis à la volonté et au contrôle du mécanicien.*

Système Sprague.

Composition des équipements. — Il faut distinguer d'abord *deux sortes de circuits :*

Celui qui porte le courant principal de la ligne aux moteurs et aux résistances de réglage et qu'on réduit au minimum strictement indispensable.

Celui qui assure la continuité du train au point de vue de la commande. Nous reviendrons plus loin sur ce dernier pour en donner la composition et le rôle exact.

Le premier circuit, représenté en traits plus gros dans les figures, est limité à chaque voiture individuellement : il aboutit donc, d'un côté aux frotteurs portés par la voiture pour recueillir le courant moteur sur le troisième rail, de l'autre au châssis par lequel se fait le retour du courant aux rails de roulement, et par ceux-ci à l'usine. La figure 2 représente une succession de voitures à 2 moteurs, disposés pour le couplage série-parallèle et le renversement de marche par inversion des induits.

L'inverseur est représenté, au droit des contacts d'inducteur et d'induit de moteurs, par un long cylindre muni de 2 électros de commande à son extrémité droite. Au-dessus est représenté l'autre cylindre à touches principales, celui du combinateur, qui combine les moteurs en série-parallèle, à la manière d'un contrôleur ordinaire, et règle l'accélération par le jeu graduel de résistances (représentées en pointillé). On voit qu'il est commandé par un petit moteur réversible, dont nous allons maintenant expliquer le fonctionnement.

Moteur pilote. — Relié directement au frotteur positif par un de ses pôles d'induit, le moteur pilote peut être relié par l'autre à la terre, à travers l'un ou l'autre des deux enroulements inducteurs qui le mettent en marche dans un sens ou dans l'autre. On peut voir, aux interruptions des fils, que les changements de marche ou arrêts du moteur sont régis :

1° Par la position du cylindre principal, au moyen de contacts secondaires dont il est muni ;

2° Par le jeu de relais à plateau qui servent :

Le premier à partir de gauche (fig. 2), à porter directement le cylindre à la position de marche en parallèle ;

2° Le deuxième, à le porter à la position de marche en série par mouvement dans un sens ou l'autre, suivant la position précédente.

3° Le troisième, à ramener le cylindre au o.

C'est assez déjà pour en faire comprendre le principe, et nous pouvons, dès lors, indiquer la composition des circuits de commande, dont le rôle ne saurait apparaître aussi clairement sur les figures suivantes, consacrées aux détails de chaque équipement indépendamment des autres.

Circuits de commande. — Reliées d'un côté à la terre, les 2 bobines de l'inverseur sont reliées de l'autre aux *2 fils inverseurs* dans la câblerie générale du train. Celle-ci ne comprend que des fils de faible section, aboutissant à des coupleurs multiples pour les passages de voiture à voiture.

De même les *3 relais de marche* ont un pôle en commun à la terre, et les autres aboutissent à 3 fils de la câblerie du train : celui de *marche en série*, celui de *marche en parallèle* et celui de *retour au 0*. Il faut bien observer que ce dernier fait le retour au o seulement du cylindre combinateur, mais non du cylindre inverseur. Ce cylindre inverseur est ramené au zéro par l'effet d'un ressort lorsqu'il ne passe de courant ni dans l'une ni dans l'autre de ces deux bobines.

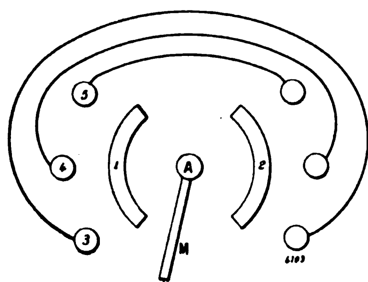


Fig. 3. — Principe du contrôleur de plate-forme.

A. Au frotteur; M. Manette de mécanicien; 1, Fil de marche avant du train; 2, Fil de marche arrière du train; 3, Fil de marche en série; 4, Fil de marche en parallèle; 5, Retour au zéro.

Un *commutateur multiple* suffit au mécanicien pour donner le courant à ces 5 fils, qui sont tous des pôles de circuits de commande reliés d'autre part à la terre. Nous conserverons pour cet appareil, malgré la modestie de ses fonctions, le nom qui lui a été donné de *manipulateur ou contrôleur de plate-forme;* la figure 3 en représente la réalisation la plus simple. La figure 3 représente à la partie supérieure le câble multiple du train et immédiatement au-dessous les fils qui le relient aux deux plates-formes, supposées toutes deux munies de commutateurs de mécanicien.

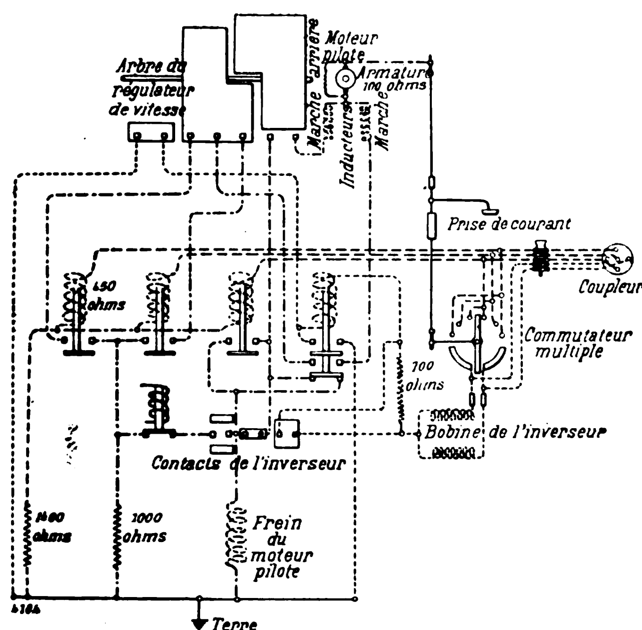
La continuité du *Câble du train et du câble de voiture* reliant les deux contrôleurs de plate-forme est, ainsi qu'on le voit, absolue et indépendante des dérangements partiels qui peuvent obliger à exclure les unités avariées, mais sans rien enlever aux autres de leur facilité de fonctionnement.

Ce schéma type exclut, pour la simplicité, divers éléments que nous allons signaler maintenant, à l'aide des figures plus détaillées qui suivent. Nous ne citerons que pour mémoire ceux qui concernent le freinage : Des compresseurs d'air à moteurs électriques peuvent être alimentés de courant, à partir de la plate-forme du mécanicien, par un fil additionnel à joindre au câble général.

Si ce fil peut être relié au frotteur d'alimentation par un interrupteur à la portée du mécanicien, celui-ci peut régler de sa place le jeu de tous les compresseurs, par conséquent la pression de tous les réservoirs.

Ou mieux, ceux-ci sont réunis et peuvent commander la marche et l'arrêt automatiques des compresseurs pour maintenir la pression entre les limites déterminées. Il suffit de substituer à l'interrupteur supposé d'abord placé entre le fil des compresseurs et le frotteur d'alimentation un régulateur pneumatique accomplissant les mêmes fonctions que celui qui a été décrit page 48 dans *L'Éclairage Électrique* du 12 octobre 1901.

Une autre observation s'impose dès maintenant : Rien dans ce qui a été indiqué précédemment n'empêche le moteur pilote d'effectuer trop vite l'avance automatique du contrôleur, et si sa vitesse de progression, qui règle le courant accélérateur, est réglée pour un parcours en pente où la force contre-électromotrice s'élève rapidement et prévient un flux de courant exagéré, il n'agit pas de même en rampe, où l'accélération lente ne donne qu'une force contre-électromotrice faiblement modératrice. Cette considération et quelques autres, au nombre desquelles la sécurité générale du système, ont conduit à l'adoption d'un *relais limiteur*, dont l'enroulement de commande est composé de quelques spires où circule le courant moteur. Du système à plateau comme les autres, il interrompt le courant envoyé au moteur pilote, et lui applique le frein pour en rendre l'arrêt instantané.



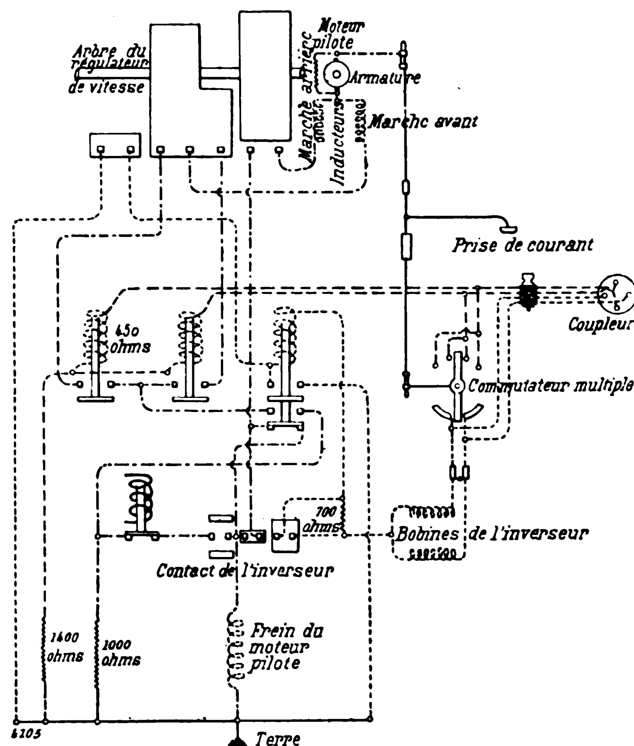


Fig. 4 et 5. — Système Sprague. — Circuits de commande et relais.

Il nous reste à parler du rôle important que joue le relais automatique de sécurité, qui se trouve le plus à droite sur les figures 4 et 5. Il constitue, avec le relais limiteur, une des principales caractéristiques du système.

La bobine qui le met en œuvre est montée en série avec les bobines de l'inverseur. Le courant qui traverse ces bobines ne peut être établi que lorsque l'inverseur est au zéro; il ne faut pas, en effet, que l'on puisse changer la position de l'inverseur autrement que pour le ramener au zéro lorsque le contrôleur n'est pas lui-même au zéro. Un contact porté par le contrôleur, et 2 balais qui ne le touchent qu'au zéro constituent le *by-pass* réalisant cette condition.

Mais une fois que le courant a été établi dans les bobines de l'inverseur, le régulateur de vitesse peut être manœuvré, et il ne faut pas que l'inverseur quitte sa position. Or le contact du *by-pass* lâche prise. Aussi le relais automatique de sécurité agit-il sur des contacts faisant subsister le courant qui l'actionne une fois qu'il a pu être établi, et cela jusqu'à ce que le mécanicien veuille le rompre.

Le relais de sécurité a en outre un double but qui lui vaut son appellation : lorsqu'il n'est pas levé (c'est-à-dire lorsque l'inverseur n'est pas en position de marche), on ne pourrait établir les combinaisons de circuits du moteur pilote déterminant l'avancement du régulateur de vitesse vers les positions série ou parallèle ; lorsqu'il est baissé (c'est-à-dire lorsque l'inverseur est à zéro), il établit les mêmes connexions que le relais de retour à zéro, obligeant donc automatiquement le régulateur de vitesse à revenir à la position d'ouverture des circuits.

Le relais automatique de sécurité réalise donc en somme des « enclenchements électriques » empêchant ou déterminant automatiquement (indépendamment des commandes du mécanicien) certains mouvements d'appareils.

Il y a plusieurs autres enclenchements dans le système. C'est ainsi que l'avancement du régulateur de vitesse ne peut être obtenu si le cylindre même de l'inverseur n'est pas en position de marche ; et, si ce cylindre est à la position zéro, le régulateur de vitesse est fatalement ramené au zéro par un troisième circuit indépendant de celui du relais de retour à zéro et de celui établi par le relais automatique.

Ces enclenchements ont pour but, ainsi que les premiers, de réaliser automatiquement la mise hors circuit d'une voiture dont un appareil fonctionnerait imparfaitement, si son mauvais fonctionnement rend la manœuvre de la voiture dangereuse. Que par exemple l'inverseur ou le contrôleur se trouvent arrêtés dans quelque position que ce soit, il est facile de voir que bientôt tout courant moteur sera supprimé sur la voiture considérée qui jouera désormais le rôle de remorque.

C'est aussi la grande sécurité automatique du système qui permet de le manœuvrer aussi simplement. C'est grâce à elle qu'on peut, par exemple, sans inconvénients, lancer directement et d'un seul mouvement, la manette de la position de pleine marche avant à la position de pleine marche arrière (ou réciproquement). Il est facile de voir sur les figures de cet article ce qui se passe dans ce cas : 1° l'inverseur est immédiatement ramené au zéro par le passage de la manette à la position centrale dont nous parlerons tout à l'heure ; il ne va pas plus loin, le régulateur de vitesse n'étant pas au zéro ; 2° le régulateur de vitesse, justement parce que l'inverseur est au zéro, est amené rapidement vers la position zéro ; 3° dès qu'il y arrive, l'inverseur, libéré, passe à la position de marche opposée à celle qu'il occupait tout d'abord ; 4° aussitôt, le régulateur se met à avancer, touche par touche, lançant un courant de plus en plus violent dans les moteurs, mais jamais plus violent que leur conservation ne le permet, à cause du relais limiteur. Tous ces mouvements s'opèrent automatiquement, par suite du mouvement unique que le mécanicien a eu à faire.

Nous allons d'ailleurs, pour résumer le jeu des divers appareils, suivre les manœuvres du mécanicien en nous reportant aux figures. Supposons que le conducteur désire aller à demi-vitesse, c'est-à-dire avec moteurs en série sans résistances. Il envoie le courant au relais série qui attire son armature. L'appareil du mécanicien renvoie en même temps le courant dans le circuit inverseur-relais automatique et by-pass. L'inverseur est mis en position. Les relais série et automatique donnent le courant au moteur pilote qui, par *rotations successives marquées de faibles arrêts*, entraîne le contrôleur jusqu'à la position série.

Si le relais limiteur attire son armature, il met hors circuit la bobine qui soulevait le frein du moteur pilote. La résistance de 1 000 ohms est laissée seule en série avec le moteur pilote, et il libère le frein qui provoque l'arrêt immédiat du moteur.

Le relais limiteur agit donc automatiquement pour arrêter le moteur pilote chaque fois que le courant dépasse la limite pour laquelle il est réglé.

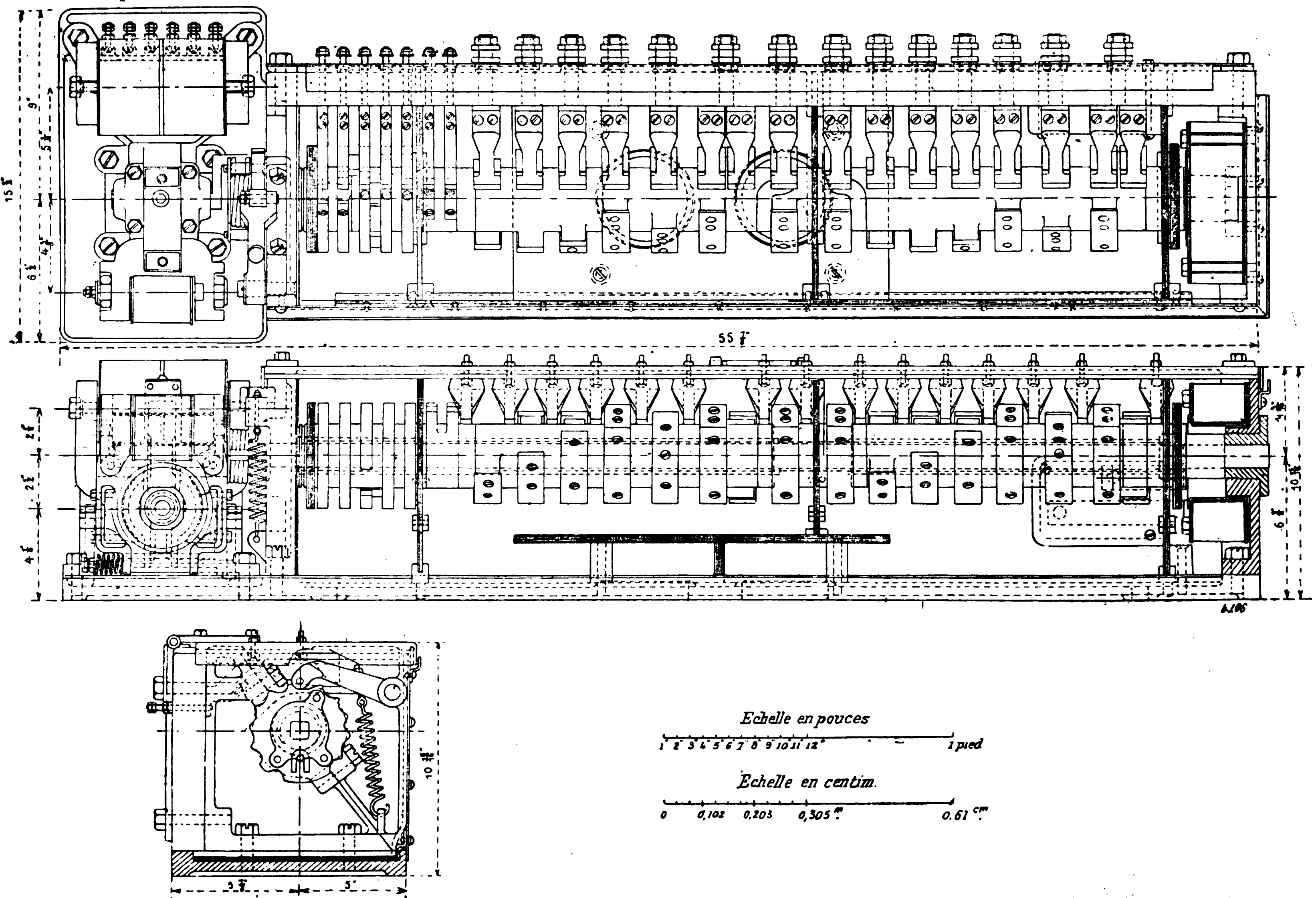


Fig. 6 à 8. — Système Sprague. — Régulateur de vitesse ou contrôleur principal.

La mise à la position parallèle de l'appareil de mécanicien mettrait de même en parallèle les équipements.

Le retour au troisième relais ramènerait le contrôleur seul au o.

Le retour de la manette à la position verticale mettrait contrôleur et inverseur au o.

L'asservissement des appareils étant partiel, et les contrôleurs des diverses voitures dans une grande mesure indépendants, on conçoit qu'on puisse associer dans un train plusieurs équipements non identiques, commandés par relais limiteurs réglant séparément leurs courants.

Examen des appareils. —Le *contrôleur de plate-forme* est un commutateur construit sur les principes des contrôleurs de tramways les plus réduits : sous forme de cylindre portant des segments métalliques en regard de frotteurs fixes, à multiple rupture, mais sans soufflage. Dimensions 0,20 m × 0,15 m × 0,80 m.

D'ordinaire ce contrôleur comporte pour la marche avant trois positions correspondant à la marche à vide et au groupement des moteurs en série, puis en parallèle. Pour la marche arrière, il n'y a que deux positions, correspondant à la marche à vide et au groupement en série, car il vaut mieux que le conducteur ne puisse faire aller le train en arrière, à toute vitesse, sans changer de plate-forme. Entre la marche avant et la marche arrière se trouve une position intermédiaire correspondant à la rupture de tous les circuits (position verticale de la poignée, fig. 4 et 5).

La manette, dès qu'on la lâche, revient d'elle-même à la position de rappel au o du régulateur de vitesse, à laquelle elle est rappelée par un ressort et un cliquet.

L'*inverseur* est, à défaut de tout courant, maintenu à la position médiane où son cylindre coupe les circuits des moteurs par l'action d'un puissant ressort. Les solénoïdes qui le mettent en l'une ou l'autre de ses deux dispositions extrêmes, marche avant ou arrière, commandent des plongeurs, actionnent le cylindre par l'intermédiaire de billes.

L'inverseur établi pour un équipement à 2 moteurs de 150 chevaux a une longueur 1 m environ. Il serait sensiblement augmenté pour des équipements à 4 moteurs. Il est muni de cloisons séparatrices d'arcs et d'une bobine de soufflage en bout d'arbre.

Nous avons dit que le *contrôleur principal* effectuait des rotations successives marquées de faibles arrêts. Or, le servo-moteur tourne d'une façon continue, sauf intervention du relais limiteur : il entraîne l'arbre au moyen d'une réduction de vitesse à vis sans fin (rapport 80 à 1), et avec l'intermédiaire d'un ressort. Une came dans les encoches de laquelle vient s'engager un levier appliqué par un ressort et terminé par un galet pouvant glisser sur le pourtour de la came permet de réaliser l'entraînement par saccades du cylindre du contrôleur; les encoches arrêtent les segments sous les frotteurs et les saillies de la came, assurent, par le jeu des ressorts, une rupture aussi rapide que possible (fig. 6 à 8).

La figure 8 laisse voir, à gauche, le moteur pilote, la transmission et le frein ; à droite, les contacts de commande, les contacts principaux et la bobine de soufflage. La longueur est d'environ 1 m. Ces dimensions seraient peu augmentées si, adoptant des équipements à 4 moteurs, on groupait les moteurs par paires, ce qui est le cas le plus général.

La figure 9 les coupleurs de voiture à voiture, qui doivent être tels que l'interversion ou le changement bout pour bout des voitures n'intervertisse et, par conséquent, ne fausse aucune des connexions.

Le premier train Sprague européen a été lancé, le 6 août 1901 sur la ligne électrique de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, et il y a circulé depuis cette date sans aucune interruption. Dès que la ligne sera ouverte jusqu'à Versailles, le service en sera assuré par ce train Sprague, par le train Thomson dont nous parlerons plus tard, et par des trains à

locomoteurs électriques. Les deux premiers systèmes de trains à unités multiples se trouveront donc en présence l'un de l'autre, et en présence, tous deux, de trains à locomotives électriques. L'étude de cette ligne présentera donc un intérêt considérable. (1)

Les unités du train Sprague sont de 3 voitures, dont une motrice et 2 remorques. L'ensemble de cette unité pèse à vide 45 tonnes et comporte 2 moteurs Thomson-Houston de 150 chevaux chacun. Ces moteurs sont placés sur l'un des deux trucs Mac Guire qui portent la voiture motrice.

Sauf en ce qui concerne ces trucs, la voiture motrice, aussi bien que les voitures de remorque, sont des voitures à voyageurs ordinaires de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest. Quelques modifications d'aménagement ont été faites seulement aux voitures motrices qui sont de deux types. Deux d'entre elles, destinées à diriger le train dans un sens seulement, sont séparées en deux parties à peu près égales; une des moitiés est restée telle qu'elle était autrefois, et sert aux voyageurs; l'autre moitié, vitrée à l'avant, comporte les appareils de commande du système électrique, des freins, etc., et constitue en outre un fourgon à bagages dans lequel sont disposés des coffres contenant l'inverseur et le régulateur de vitesse. La troisième motrice peut être placée indifféremment à l'un ou l'autre des deux bouts du train et sert exclusivement pour le transport des voyageurs. Elle est munie d'une cabine de mécanicien à chacune de ses extrémités, vitrées toutes deux. Le reste de la voiture n'a pas subi de modifications; l'inverseur et le contrôleur sont disposés sous les banquettes.

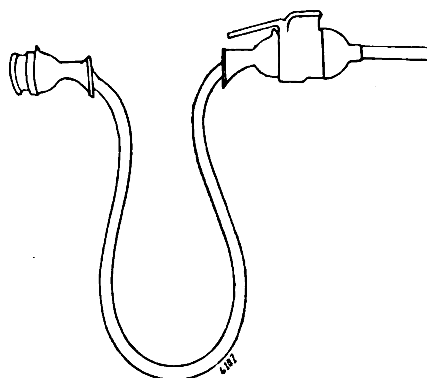


Fig. 9. — Coupleurs et câble de connexion.

Le train en service est à composition variable. En semaine il se compose de 2 unités, c'est-à-dire de 6 voitures dont 2 motrices. Le dimanche, aux heures d'affluence, on ajoute la troisième unité en bout, et le train circule avec 9 voitures dont 3 motrices.

J. W. BLAKSTONE.

CONSTRUCTION RATIONNELLE DES ALTERNATEURS (2)

4. BATI DE FONTE SOUMIS A LA TENSION — Dans la construction des machines, il est de règle constante de travailler toutes les grandes pièces dans la position même qu'elles auront en marche Mais pour les grandes dynamos, l'application de cette règle exige souvent de très grandes machines-outils spéciales, car le bâti de fonte est tourné horizontalement, afin que l'on puisse placer facilement les segments de tôle de l'armature. Ces segments sont en effet poinçonnés de façon à être placés dans un bâti rond ; il faut donc que le bâti soit rigoureusement circulaire lorsqu'il est horizontal, par suite il faut le tourner horizontalement. Si on redresse ensuite le bâti, il s'ovalise tant

(1) La puissance motrice du train Sprague est répartie sur trois automotrices, celle du train Thomson sur deux seulement; il va sans dire que la comparaison des deux trains serait plus concluante sans cette différence, c'est-à-dire à nombre égal d'automotrices.

(2) Voir numéro précédent, p. 430.

qu'on n'exerce pas des efforts extérieurs aux points de plus grande déformation ; mais si on parvient à exercer ces efforts, il devient inutile de tourner le bâti verticalement.

Si l'on ne veut pas exercer ces efforts, il faut prendre un bâti extraordinairement lourd, de façon que la déformation maximum n'excède pas une valeur donnée. Cette déformation maximum est déterminée par l'épaisseur de matière que l'on peut enlever au tour, épaisseur d'ailleurs limitée par la condition que, en aucun point, l'enroulement ne soit trop près de la surface d'alésage. Aucune maison européenne n'a réalisé une construction aussi rigide ; nous décrirons plus loin une machine de la Compagnie Westinghouse qui réalise ces conditions, mais avec une dépense énorme de matière.

Nous avons dit qu'un bâti circulaire subit une déformation lorsqu'on le redresse verticalement ; la pesanteur exerce sur la matière des tensions intérieures et la déformation s'arrête lorsqu'il y a équilibre entre ces tensions et les efforts exercés par le poids des masses. Les poids peuvent être également équilibrés par des forces extérieures et c'est sur ce principe que sont construites toutes

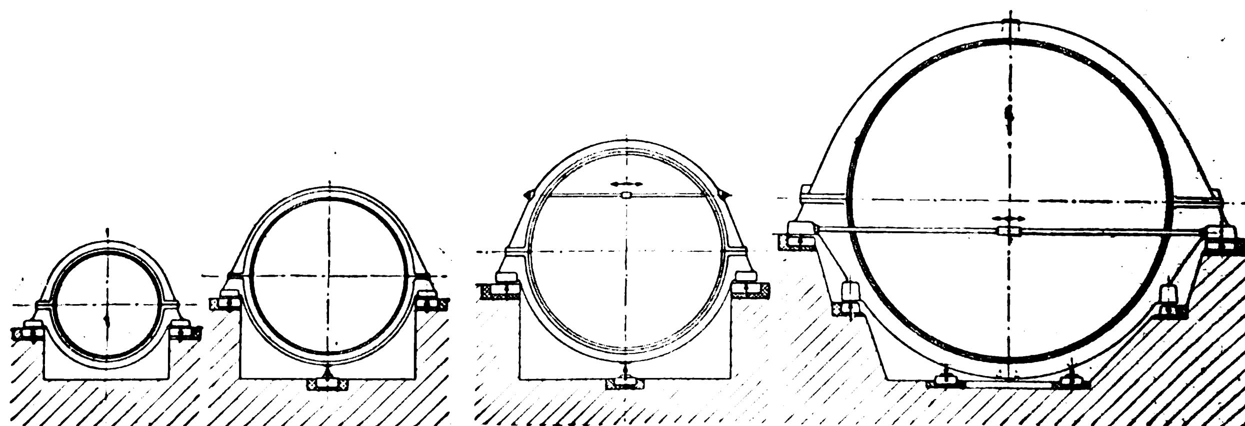


Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36. Fig. 37.

Fig. 34 à 37. — Diverses formes de bâtis.

les machines européennes. La transition entre le bâti rigide et le bâti élastique s'est faite graduellement et presque inconsciemment. Les bâtis de 1 à 2 m de diamètre (fig. 34) ont été pratiquement rigides ; on a passé de là à un système tendeur avec troisième pied (fig. 35), puis avec 4 à 6 pieds (fig. 37). Au moyen de cales ou de vis de réglage, on répartissait l'effort sur chaque pied, c'est-à-dire que l'on tendait le bâti avec chaque pied jusqu'à l'obtention de la forme circulaire, autrement dit, on tendait le bâti par rapport aux boulons de fondation.

A mesure que le nombre de ces pieds croissait, la besogne du monteur devenait plus délicate. La figure 38 montre la partie inférieure d'une dynamo de 3 000 kw. dans laquelle les pieds, situés à mi-hauteur de la moitié inférieure, constituent les supports principaux ; les deux pieds inférieurs ne servent qu'à empêcher les parties inférieures du bâti d'être suspendues ; les deux pieds supérieurs n'ont qu'un poids minime à supporter.

Un moyen souvent employé pour donner au bâti la forme circulaire consiste dans l'emploi de tirants ; c'est là moins un système de construction qu'un expédient. La figure 36 représente un alternateur où un tirant relie les deux points de plus grande déformation de la partie supérieure ; quant à la déformation de la partie inférieure, elle est contrariée par les fondations mêmes. L'alternateur de la figure 37 porte un tirant à la partie inférieure, destiné à empêcher les efforts de déformation de s'exercer sur la plaque de fondation. La figure 39 représente un alternateur rendu rigide au moyen de tirants radiaux. La figure 40 représente un autre procédé, dans lequel l'armature n'a plus à supporter les efforts exercés par la pesanteur. Ces efforts sont supportés par deux croisillons concentriques à l'arbre, travaillant à la compression et montés sur un socle spécial.

D'une façon générale on peut dire que seule l'armature des tôles est calculée d'après la puis-

sance de l'alternateur; tous les matériaux dits de construction que l'on y ajoute constituent un mal nécessaire : ils sont lourds, coûteux et n'ajoutent rien à la puissance. On comprend dès lors la tendance à réduire autant que possible le poids du bâti et à chercher un moyen simple pour empêcher les déformations.

5. Armature constituant le système tendeur — Beaucoup de constructeurs ont négligé, au début, de serrer suffisamment les tôles des alternateurs. On employait, il est vrai, de lourds bâtis

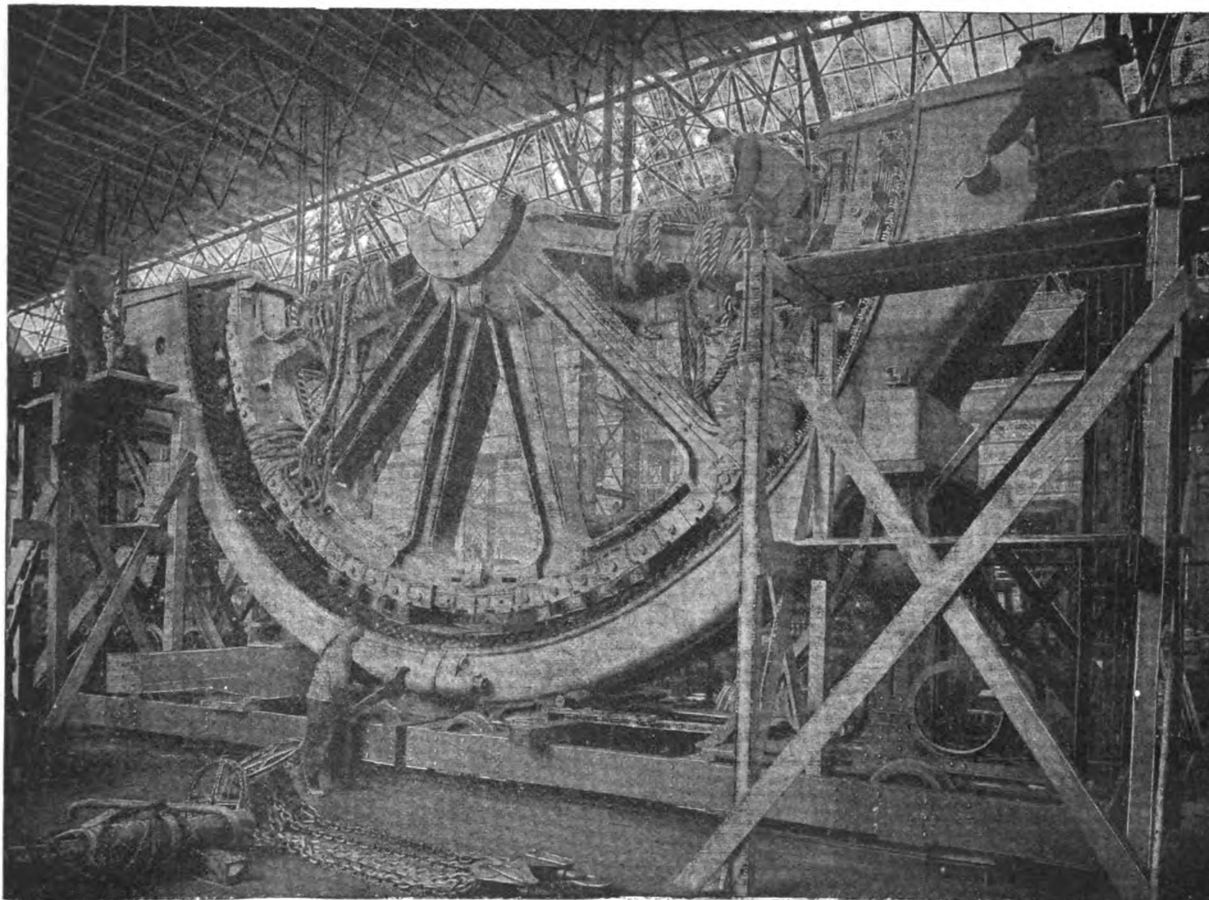


Fig. 38. — Moulage du bâti d'un alternateur de 3 000 kw.

de fonte, mais ceux-ci supportaient simplement la carcasse de fonte; les tôles elles-mêmes n'étaient pas suffisamment serrées par les boulons, et il en résultait un fort renflement; on prétendait même que les alternateurs ronflaient nécessairement. Mais pour le serrage des tôles, point n'est besoin d'un bâti gigantesque ; il suffit de prendre quelques plaques de serrage légères et des boulons traversant les tôles. La compression des tôles donne à l'ensemble de la couronne toutes les propriétés d'une couronne massives en fer laminé.

L'essai suivant a donné une idée de la rigidité d'une semblable couronne. On a assemblé l'armature d'une dynamo sans le bâti de fonte ordinaire. La couronne avait 4 800 mm de diamètre extérieur, les tôles avaient 100 mm de hauteur et le paquet, 500 mm d'épaisseur. Les boulons serraient directement les tôles sans l'intermédiaire d'aucune plaque de serrage. On fixa les pieds latéralement et on dressa l'anneau dans diverses positions : sur les deux pieds, sur un rouleau placé au point le plus bas, ou bien on le suspendit par le sommet. Il en résulta les déformations élastiques représentées par les figures 41 à 43 et d'une amplitude de 2 à 8 mm, quantités inad-

missibles; mais l'essai a prouvé qu'il ne fallait pas de très grands efforts pour rendre à l'anneau sa forme circulaire.

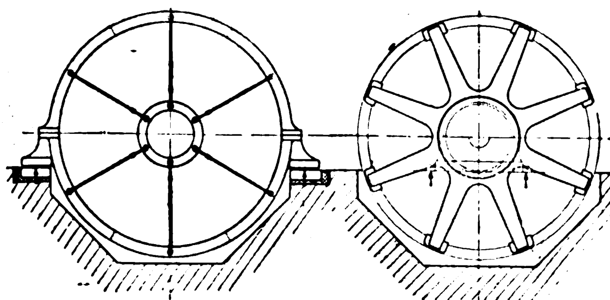


Fig. 39 et 40.

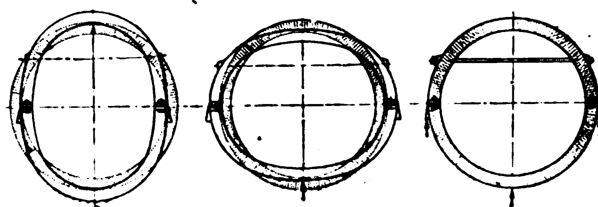


Fig. 41 à 43.

Lorsque l'on a passé des petits alternateurs aux grandes unités de 9 à 10 m de diamètre, on a d'abord pris modèle sur les premiers; les bâtis en fonte reprirent la forme des figures 44 et 45. Les tôles étaient reliées au bâti au moyen d'un grand nombre de boulons bien ajustés. Des ca-

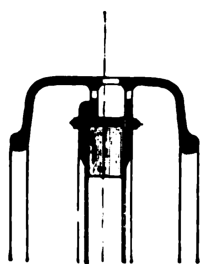


Fig. 44.

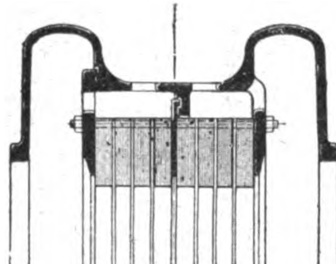


Fig. 45.

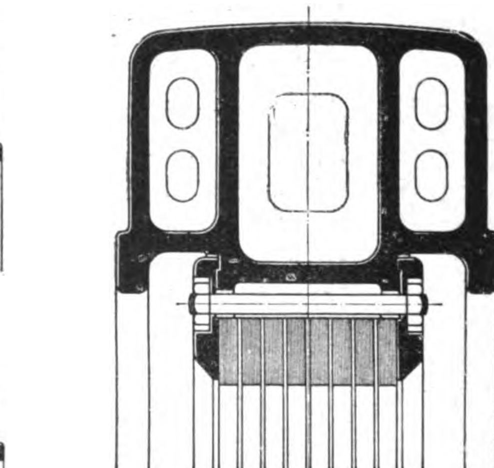


Fig. 46.

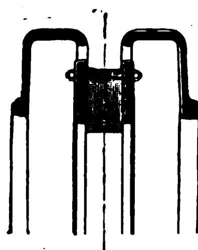


Fig. 47.

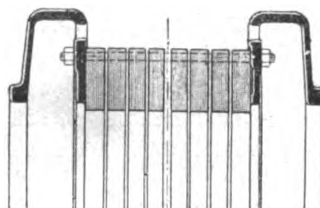


Fig. 48.

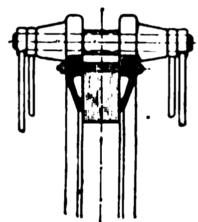


Fig. 49.

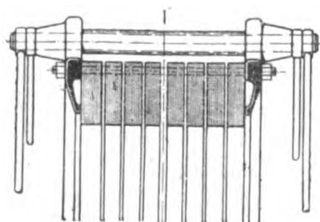


Fig. 50.

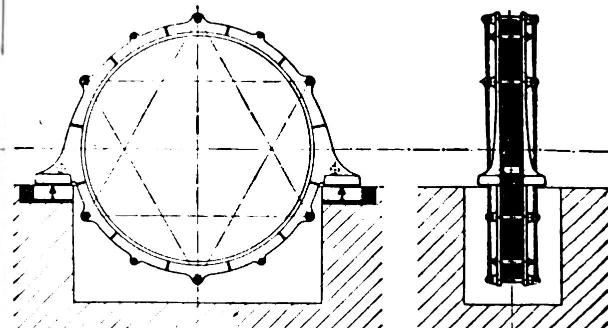


Fig. 51.

Fig. 44 à 51.

naux pratiqués dans l'armature et le bâti livraient passage à l'air de ventilation. Les sections des figures 44 et 45 montrent que la partie médiane du bâti ne contribue que pour une faible part à

la rigidité de l'ensemble; l'on se trouverait conduit à dimensionner largement la carcasse extérieure et à lui donner la forme de la figure 46.

Le constructeur se trouvait donc amené à supprimer la partie médiane et à ne conserver que les deux flasques latérales. Ce dispositif présentait le grand avantage de donner plus d'unité à la construction, car les mêmes flasques peuvent servir à toutes les machines de même diamètre, et par suite, dans certaines limites, pour tous les alternateurs de même vitesse.

Mais le progrès véritablement décisif consista dans la suppression de la culasse de fonte. La

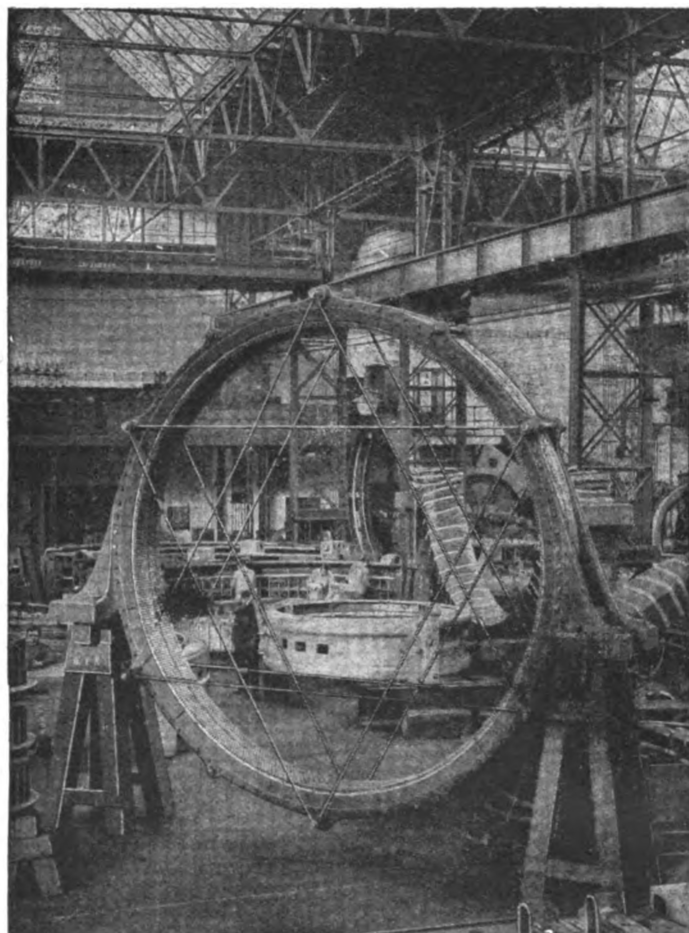


Fig. 52.

couronne de tôle devint le support unique de tout l'ensemble (fig. 49 et 50). Grâce à des procédés très simples, cette couronne parfaitement élastique, mais très déformable, obtint une rigidité suffisante pour le montage et le transport, sans donner lieu à aucun renflement ni à aucune déformation. Le moyen le plus simple d'obtenir ce résultat consiste en une chaîne articulée qui entoure la couronne (fig. 53 et 54). Un autre procédé consiste à réunir par des tirants les points soumis à la plus grande déformation. Les figures 49 et 50 représentent les sections correspondant à ce procédé. Dans ces deux figures la section de l'induit est la même que dans les figures 44 et 45, mais les joues sont remplacées par deux plaques de serrage qui, d'une part, servent d'appui aux boulons de serrage et, d'autre part, portent des entretoises servant d'articulation aux tirants. Les figures 1 et 54 représentent le système tendeur figuré schématiquement par

la figure 51. Le diamètre extérieur est de 5 000 mm, l'alésage de 4 600 mm. Le système tendeur entoure la couronne de tôles et exerce sur elle un serrage ressemblant à celui d'une frette. La figure 52 représente le second mode de construction. Ici on emploie deux systèmes tendeurs disposés sur les côtés de la couronne de tôle.

Le montage des alternateurs à tendeurs est grandement favorisé par suite de la diminution de poids par rapport aux bâtis en fonte. L'élasticité des diverses parties ne présente aucune difficulté, car il ne faut pas oublier que le polygone tendeur est en fer forgé. Il est très facile de donner à la couronne la forme circulaire et les monteurs ont l'habitude de ce travail, car on est obligé de le faire même pour les bâtis en fonte. Mais dans ces derniers, aucun organe spécial n'a été prévu dans ce but, ce qui en rend le travail très difficile. Il n'en est pas de même dans les alternateurs à tendeurs. La figure 53 montre un alternateur à tendeurs en cours du montage. Suivant l'usage, on a commencé par fixer la moitié inférieure dans la fosse ; l'inducteur est déjà monté, mais sans pôles. Une fois que la partie supérieure est en place, on y adapte les tirants et on les tend en se guidant d'après la longueur de l'entrefer.

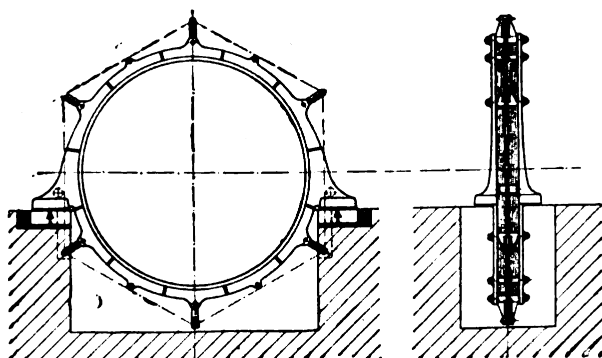


Fig. 53.

6. Théorie du système tendeur. — Les premières machines à tendeurs ont été construites d'une façon purement empirique. On se préoccupait avant tout de donner de la rigidité à l'armature, sans essayer de faire une théorie qui d'ailleurs est extrêmement difficile pour les systèmes tendeurs extérieurs. Il est plus facile d'édifier une théorie pour les tendeurs en triangle ; mais il faut remarquer qu'un calcul précis n'a guère d'importance, car, d'une part, les efforts élastiques de l'armature sont toujours faibles ; d'autre part, le poids des tirants est toujours négligeable. Les limites dans lesquelles le constructeur et le monteur doivent se tenir sont donc très étendues, sans que ni le prix de revient, ni la solidité de la construction ne soient en cause.

Il est cependant très intéressant d'examiner les déformations et les efforts qui sont en jeu dans les alternateurs à tendeurs, afin d'établir une comparaison avec les machines à bâtis en fonte. La question se pose de la façon suivante : Quelles sont les masses à employer pour donner à une certaine armature la rigidité suffisante, d'une part avec le système à tendeur, d'autre part avec le bâti en fonte.

Remarquons d'abord qu'une armature composée de tôles et de boulons, ne diffère pas beaucoup d'un anneau homogène, au point de vue des propriétés élastiques. Dans un alternateur à tendeurs latéraux, on soumit deux tirants parallèles à une tension de $2 \times 4\,000$ kg, l'armature étant couchée ; les seules forces agissantes étaient donc l'effort du tirant d'une part et la résistance intérieure de la couronne. On constata une diminution dans le diamètre de 5 mm. Le calcul donne pour une couronne homogène placée dans les mêmes conditions une déformation de 4 mm, on voit donc que la différence est faible.

Lorsqu'une couronne de tôle est placée horizontalement, le meilleur moyen pour la rendre rigide c'est de la soumettre à des efforts radiaux répartis uniformément sur son pourtour et en un nombre de points aussi grands que possible. C'est le principe du système des figures 1 et 54. Lorsque l'on redresse ensuite la couronne, les efforts dus à la pesanteur ne produisent que des déformations très faibles que l'on compense en exerçant des efforts inverses sur certaines articulations. La figure 56 représente les aires des couples et des efforts normaux pour une couronne placée horizontalement et soumise à l'un des tirants du système rectangulaire. Les déformations sont portées à partir du point D considéré comme fixe. La couronne prend une forme ovoïde dont la pointe est opposée au point D.

La figure 57 représente la couronne redressée, en admettant d'abord qu'elle soit soutenue en deux points tels que la droite qui les joint passe par le centre de gravité. Par suite de la pesanteur, la moitié supérieure s'incurve vers le bas. La couronne inférieure forme un sac tombant vers le bas et les deux points de suspension se rapprochent l'un de l'autre s'ils sont mobiles.

Lorsque la ligne qui joint les supports de la couronne ne passe plus par le centre de gravité, les déformations ne sont plus les mêmes. On est, dans ce cas, obligé de placer un tirant aux $\frac{2}{3}$ de la

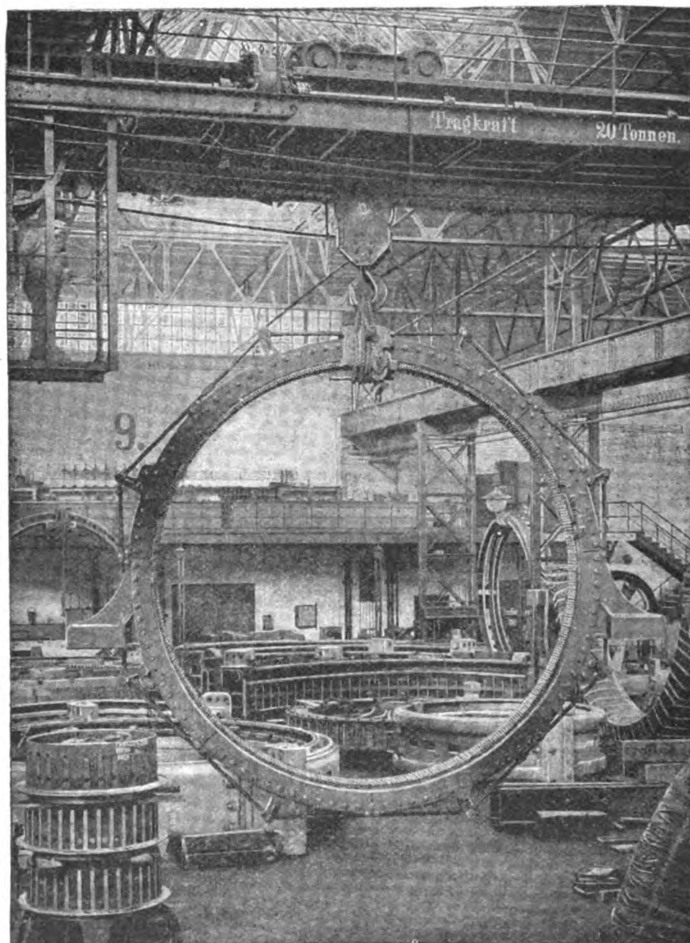


Fig. 54.

hauteur à partir du centre de gravité et deux autres tirants obliques se dirigeant vers le bas. On arrive au résultat voulu soit avec deux systèmes triangulaires (fig. 58), soit avec un système de tendeurs entourant la couronne (fig. 59). Pour éviter une trop grande incurvation des arcs compris entre les points d'attache, on adjoint, dans le système triangulaire, un deuxième triangle au premier, et dans le second système, on sépare en deux parties distinctes le polygone tendeur.

Malgré cette théorie, il restait des doutes au sujet du système représenté par les figures 1 et 54. Il semblait difficile, avec ce système, d'arriver à une forme circulaire rigoureuse. Mais le doute disparut après le montage et la mise en marche de l'alternateur dont nous avons parlé plus haut. Afin de donner au second système toute la valeur du système triangulaire, tout en conservant à la machine son élégance d'aspect, on fit la modification représentée, avec une certaine exagération par la figure 60. L'octogone conserve sa forme extérieure et, à l'encontre du

croquis, les tirants sont placés presque tangentiellement aux tôles, mais les barres de compression ne sont plus disposées suivant des rayons ; elles touchent les tôles sous des angles divers, de telle sorte que les barres supérieures *a a* soient dans le prolongement des barres inférieures *b b* sans donner de composantes radiales. Les déformations qui se produisent en ces points peuvent être corrigées comme on veut. Le point *c* du tirant horizontal est immobilisé, ce qui permet de tendre séparément les 4 quarts de la couronne.

Les attractions magnétiques qui se produisent lorsque l'inducteur est excité sont absolument centrales et, par suite, dirigées dans le même sens que les efforts des tirants. Les efforts qui résultent de la tendance de l'inducteur à entraîner l'induit sont moins favorables et produisent une déformation représentée par la figure 61.

On a cherché à mesurer ces efforts sur un alternateur de 1 500 chevaux. Bien que les supports en fonte de cette machine eussent été assez faibles, on n'y est pas parvenu. On a simplement constaté une dilatation due à l'échauffement de la couronne après une longue marche. Ainsi donc, les efforts dissymétriques ne donnent pas lieu à une déformation mesurable : c'est la meilleure preuve de la rigidité de tout le système. Ces essais ont prouvé qu'il suffit d'exercer des efforts aux points de déformation maxima (fig. 62 et 63)

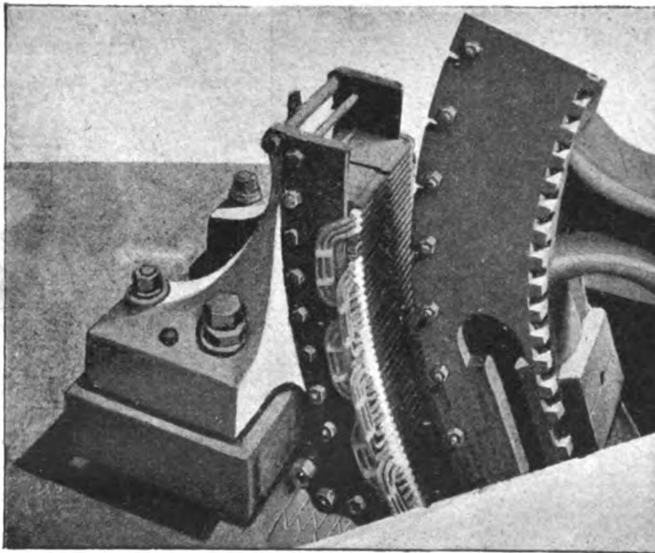


Fig. 55.

Résultats économiques obtenus avec le système a tendeurs. — Les figures 1, 64 et 65 représentent un alternateur à tendeurs et un alternateur de construction plus ancienne. On voit tout de suite que ce dernier a un volant sur l'arbre, tandis que dans le premier toute la masse nécessaire à l'inertie est portée par l'inducteur.

Une particularité qui doit frapper dès l'abord, c'est que l'enroulement induit, à haute tension, est complètement libre. En effet, le garde-corps protège suffisamment le personnel contre tout contact accidentel ; par contre, il est absolument impossible d'empêcher un contact involontaire. Il serait facile d'adapter à l'alternateur un grillage de protection. Mais il faut remarquer que, malgré tous les soins, il règne toujours dans toute salle de machines, une certaine poussière d'huile que la force centrifuge de l'inducteur projette contre l'enroulement. Le nettoyage est grandement facilité lorsque ce dernier est libre.

La figure 664 représente un alternateur de 5 000 kilowatts à 75 tours par minute, dont Westinghouse a récemment publié la description. La figure 67 représente un alternateur à tendeurs ayant la même section de tôles. La construction de Westinghouse est très originale et, en soi, à l'abri de toute critique ; on s'est préoccupé d'avoir un bâti rigide, et on y est parfaitement arrivé. Les déformations dues à la pesanteur sont aussi réduites que possible.

Mais on arrive au même résultat avec le système à tendeurs. La différence fondamentale est la suivante : Dans le bâti de fonte, les diverses parties travaillent à la flexion et se déforment forcément par suite de la pesanteur ; par contre, dans le système à tendeurs les diverses parties travaillent à la traction, ce qui permet de corriger complètement les déformations en fermant le polygone des forces.

D'après les données et les croquis de l'alternateur Westinghouse, on peut établir la comparaison suivante :

	Bâti rigide en fonte	Bâti à tendeurs
Poids de la partie magnétique (couronne)	40 t	40 t
Poids du reste de la partie fixe	195 t	10 t
Poids total de la partie fixe	235 t	50 t

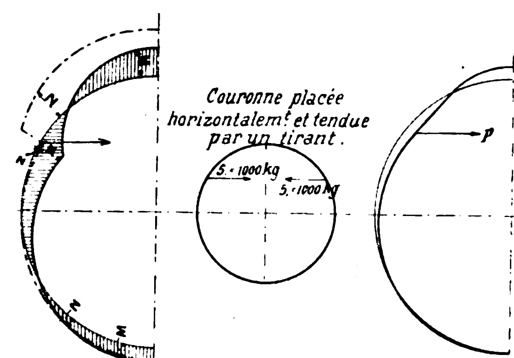


Fig. 56.

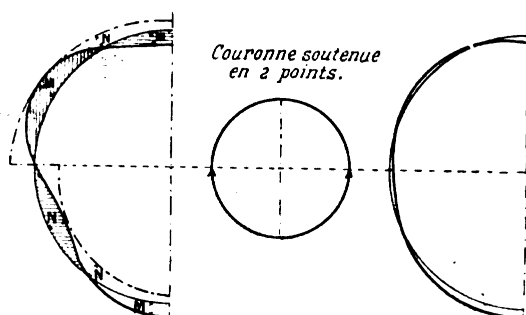


Fig. 57.

On voit donc que dans l'alternateur Westinghouse le poids total est égal à 6 fois le poids de la partie magnétique, tandis que dans l'alternateur à tendeurs il en est seulement les $\frac{5}{4}$.

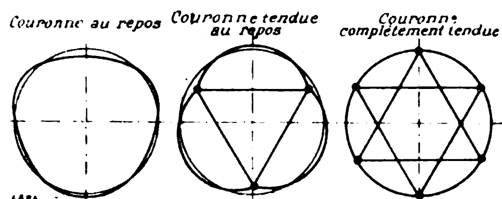


Fig. 58.

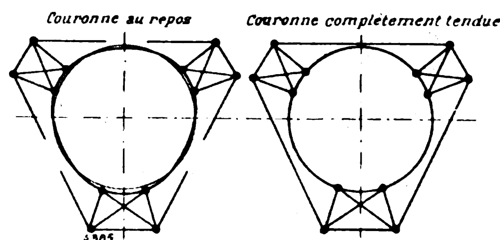


Fig. 59.

Les figures montrent également combien le montage est facilité par le système à tendeurs. Le montage de lourdes masses de fonte exige des ponts roulants très puissants. D'autre part, le tra-

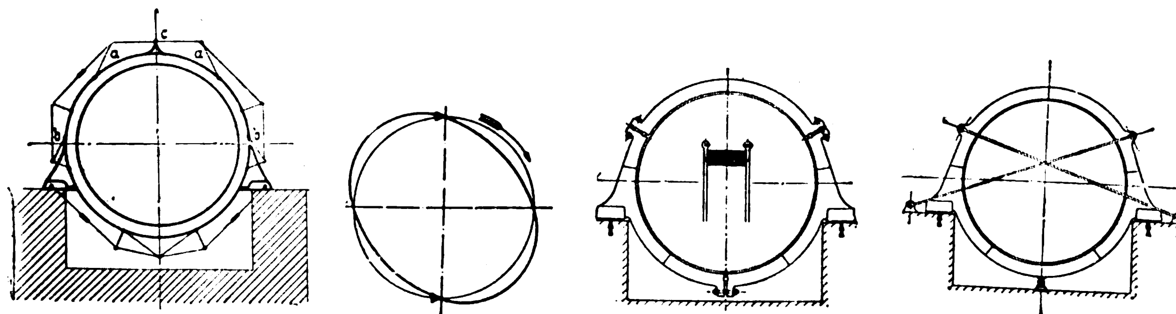


Fig. 60 à 63.

vail des plans de contact inclinés à 45° et à 90° offre de sérieuses difficultés. En outre, le bâti en fonte massif exige une fosse beaucoup plus large ; les paliers de l'arbre sont moins solidement reliés l'un à l'autre par suite du morcèlement de la fondation ; enfin l'encombrement est plus grand et la maçonnerie plus coûteuse, ainsi qu'on peut en juger par les figures 66 et 67.

****

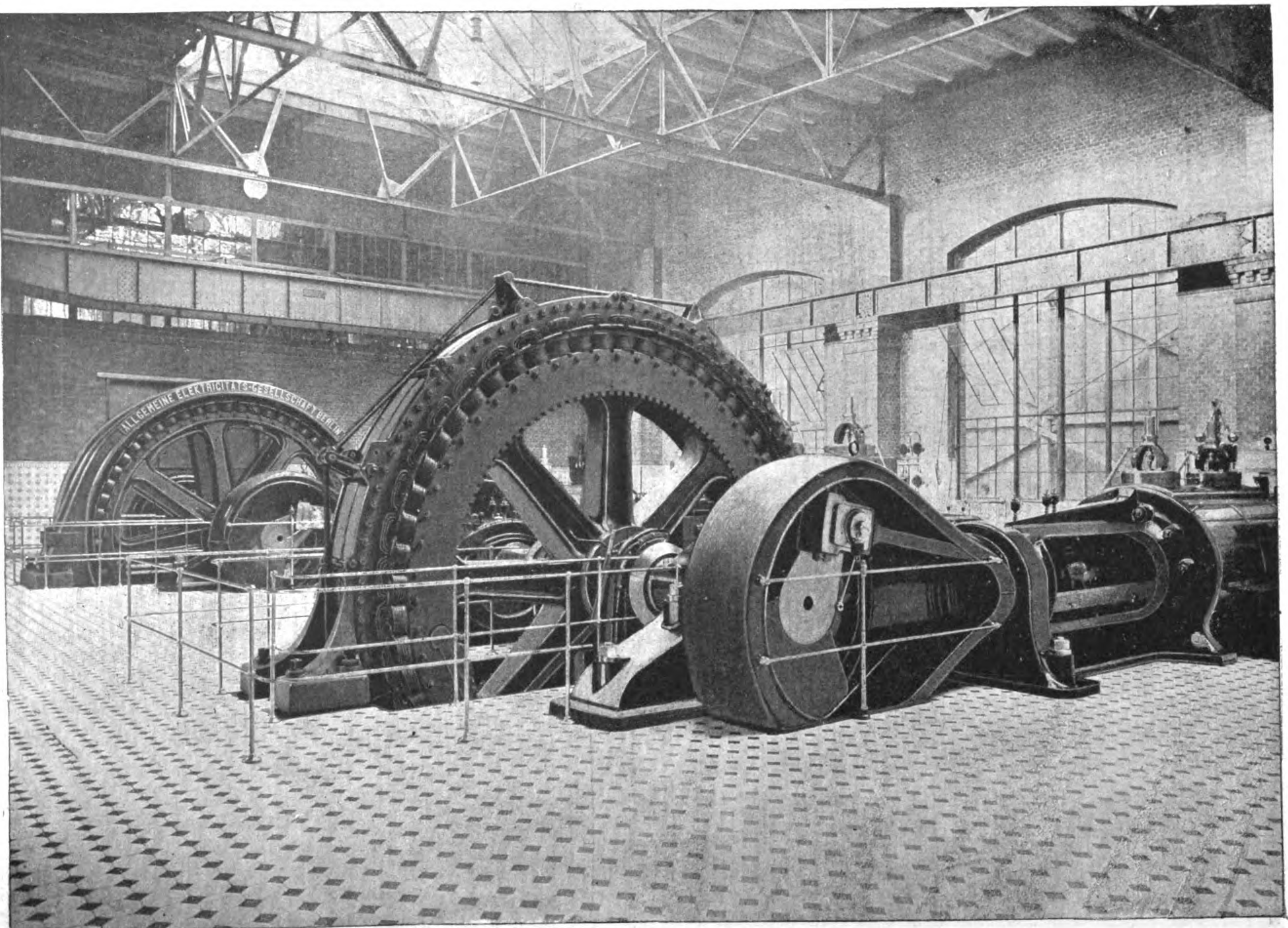


Fig. 64. — Alternateur avec bâti à tendeurs.

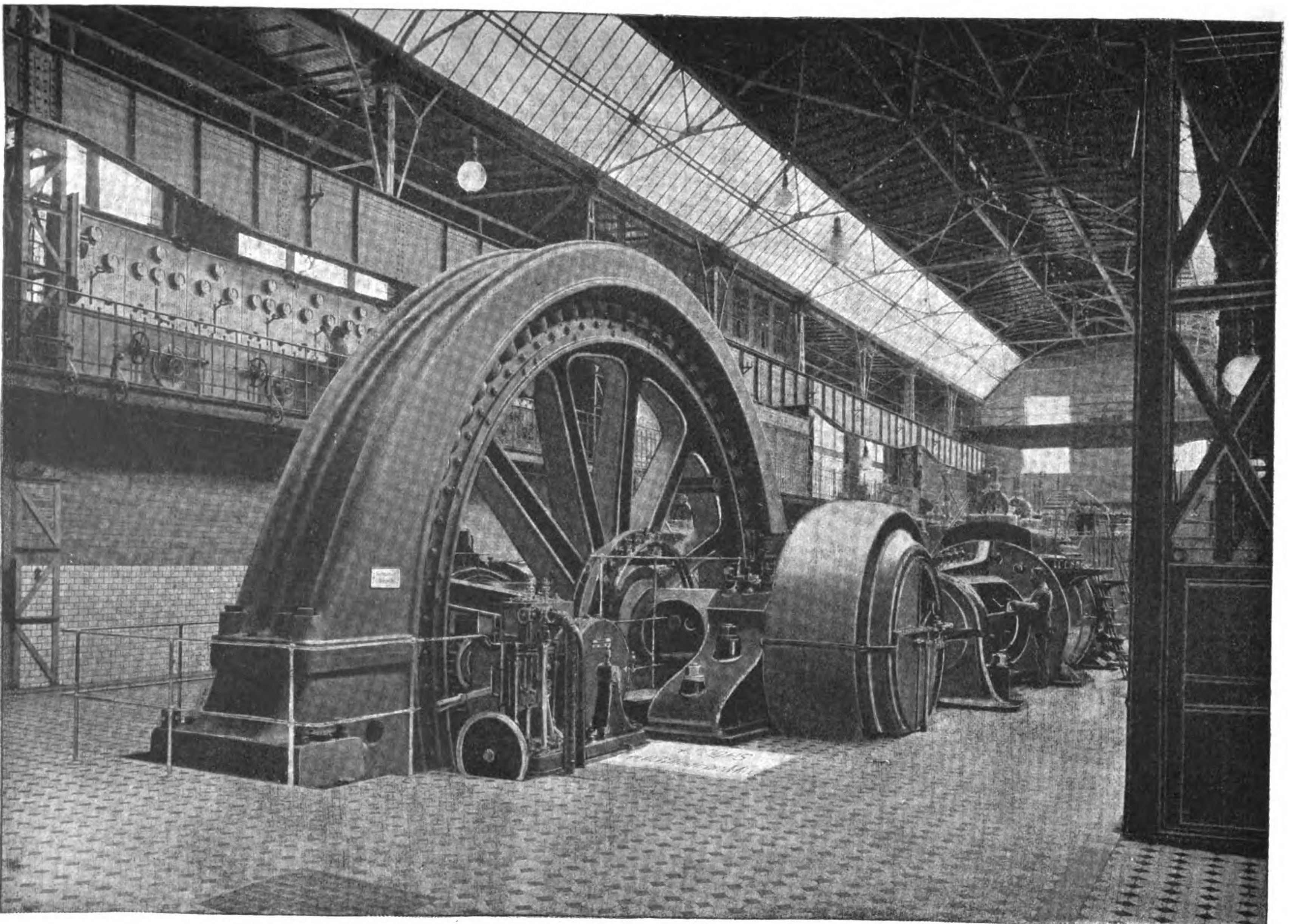


Fig. 65. — Alternateur avec bâti rigide.

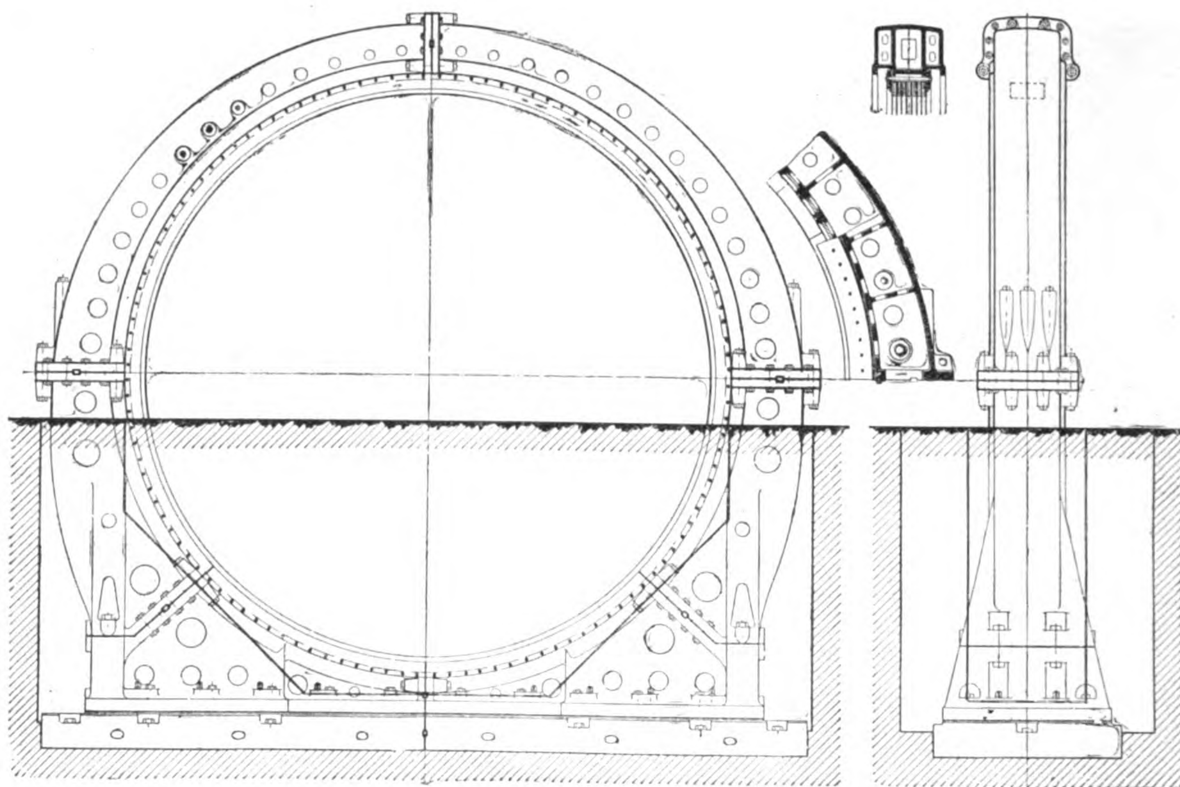


Fig. 66. — Alternateur Westinghouse à bâti rigide.

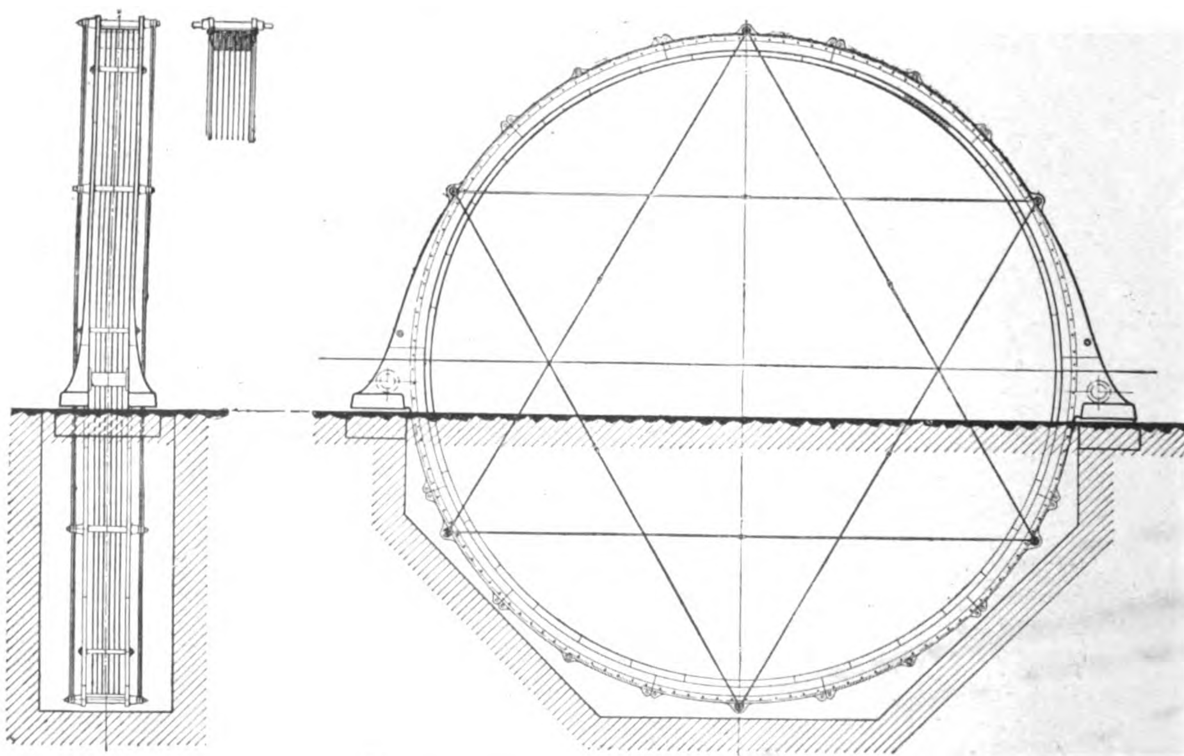


Fig. 67. — Alternateur A. E. G. à tendeurs.

Le système à tendeur permet de généraliser la *fabrication en série*. Les tôles et les flasques de toutes les machines de même vitesse sont identiques ; il en est de même des pieds et des tirants ; d'autre part, pour chaque largeur, les pièces sont les mêmes (boulons, serre-joints, etc.).

Les *délais de livraison* étaient, jusqu'à présent, déterminés par le bâti, dont la fonte et le travail exigeaient un temps considérable. La carcasse de l'inducteur, par contre, est très facile à couler. Il en résulte que la durée de la fabrication est de beaucoup abrégée. La couronne de tôles, les noyaux polaires et les bobines sont fabriqués par série.

Enfin, nous ajouterons que les frais de transport et de douane sont considérablement réduits par suite de la diminution considérable du poids.

O. Lasche,
Ingénieur en chef
de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

ÉTUDE COMPARÉE
DES
SYSTÈMES ET APPAREILS DE TRACTION ÉLECTRIQUE (1)

III. COMPARAISON DE LA TRACTION PAR COURANT CONTINU ET PAR COURANTS ALTERNATIFS

I. Données. — Une ligne à double voie dessert 27 stations.

L'énergie est fournie à la ligne par une usine placée à distance.

Les trains en fonctionnement à un instant donné sur la ligne sont au nombre de 8 dans chaque sens ; chacun doit effectuer le trajet en 52 minutes.

Poids du train en charge, y compris la locomotive, 180 tonnes (soit 164 tonnes françaises).

Poids reposant sur les roues motrices, 50 tonnes (45,5 tonnes françaises).

Effort maximum réalisable, en admettant 25 p. 100 du poids (2) : (11 350 kg) qui correspond à une accélération maxima de 0,686 mm : s : s.

Longueur du parcours moyen : 2 560 pieds (780 m).

Vitesse commerciale : 15 miles : h (24,1 km : h).

Vitesse maxima : 27 miles : h (43,3 km : h).

La distance totale est couverte en 95,5 s, les arrêts étant de 20 s à chaque station.

On suppose qu'il n'y a ni rampes, ni courbes d'effet appréciable.

On considère successivement :

a. L'emploi de moteurs à courant continu à régulation série parallèle.

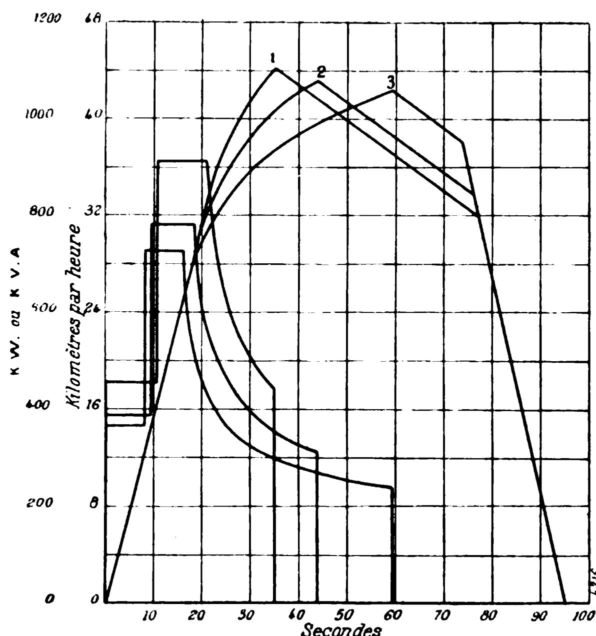


Fig. 1.

b. L'emploi de moteurs asynchrones triphasés à régulation rhéostatique ou couplage en cascade.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 22 février et du 1er mars, p. 275 et 311.

(2) Ce qui est une valeur excessivement élevée pour l'adhérence

c. L'emploi de moteurs asynchrones triphasés à réglage série parallèle avec concaténation, ou couplage en cascade, pendant l'accélération et pendant le freinage.

II. Moteurs. — Il est évident qu'*à vitesse maxima*, aucun système n'offre d'avantages définis sur l'autre, au point de vue de la consommation d'énergie, puisque les moteurs ont à peu près le même rendement, mais les volts-ampères absorbés sont de 20 p. 100 supérieurs pour les moteurs à courant alternatif, étant donné qu'ils fonctionnent sous une charge relativement faible.

Pendant le *freinage*, l'emploi des deux premières méthodes donne le même résultat, puisqu'elles ne permettent d'effectuer aucune récupération d'énergie. La troisième, au contraire, permet cette récupération, mais c'est un avantage que compense à peu près entièrement, en pratique, la complication dans le mode de commande et la construction des équipements.

Fig. 2.

a c d e Courbe de vitesse en fonction du temps pour moteurs à courant continu. — *a b c' d' e* Courbe de vitesse en fonction du temps pour moteur à courant alternatif. — *afghijk* Courbe de consommation, courant continu. — *almnok* Courbe de consommation, courant alternatif commande rhéostatique. — *pqrsk'* Kilovolts-ampères absorbés, courant alternatif commande rhéostatique. — *atuvmnok'* — *xyzw* Consommation courant alternatif, concaténation. — *a*EFG*qrsk'* + ABCD Kilovolts-ampères, courant alternatif concaténation.

Fig. 3.

abcd et *ab'c'd* Courbes de vitesse en fonction du temps. — *aswz* Consommation par contrôle rhéostatique sans période de vitesse uniforme. — *auvz* Kilovolts-ampères par contrôle rhéostatique sans période de vitesse uniforme. — *almoqr* Consommation par contrôle rhéostatique avec période de vitesse uniforme. — *atxnpr* Consommation par contrôle rhéostatique avec période de vitesse uniforme.

Pendant la période d'accélération, les trois systèmes présentent au contraire des différences marquées. En définitive, on voit que le choix dépend beaucoup des périodes relatives d'accélération, de marche en vitesse et de freinage.

On peut dire encore que, pour chaque système, la consommation dépend encore de la succession des régimes qu'on réalise.

Ainsi, nous réunissons dans la figure 1 trois parcours effectués avec les mêmes moteurs à cou-

rant continu, mais de rapports d'engrenage différents et conduits de trois manières différentes, pour effectuer le même parcours dans le même temps (95,5 sec.).

La courbe 2 correspond au mode de parcours le plus économique, et c'est celui que nous choisirons pour effectuer la marche d'un moteur à courant continu dans la comparaison qui va suivre :

On a pris de même la meilleure courbe de marche en courants alternatifs avec commande rhéostatique (fig. 2) et avec couplage série parallèle (même fig.). Ce sont les parcours types des deux systèmes de commande.

Comme courant alternatif, nous donnons également (fig. 3) deux courbes à contrôle rhéostatique, qui sont moins avantageuses que celles de la figure 2 et doivent servir à montrer seulement qu'avec des méthodes très différentes de commande rhéostatique d'un équipement donné, la consommation ne varie pas de plus de 5 p. 100.

De même que la figure 3 représente deux parcours effectués avec contrôle rhéostatique dans des conditions moins avantageuses que la figure type (fig. 2), la figure 4 représente deux parcours à moteurs alternatifs, groupement série parallèle, moins bons que le parcours de ce type (fig. 2). Ils ne serviront pas de termes de comparaison dans la suite, mais ils sont intéressants, néanmoins, parce qu'ils mettent nettement en évidence le fait suivant :

TABLEAU COMPARATIF

A Cour. cont. Régul. série parall. Marche en vitesse acquise pendant 33 sec.
B Cour. alt. Régul. rhéostat » » » » 14 »
C » Régul. cascade » » » » 14 »
D Cour. cont. » » » » 42,5 sec.
E » » » » » 14,5 »
F Cour. alt. Regul. rhéostat » » » » 40 sec.
G Cour. alt. Régul. rhéost. » » » » 0 »
H Cour. alt. Group. en cascade. Marche en vitesse acquise pendant 49 sec.
I » » » » 40 »
J » » » » 14 »
K Cour. alt. Group. pour l'accélération et le freinage. Marche en vitesse acquise pendant 40 sec,
L Cour. alt. Group. pour l'accélération et le freinage. Marche en vitesse acquise pendant 0 sec.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Kilowatts-seconde en marche accélératrice	21 800	31 700	25 100	32 700	23 000	39 100	31 100	30 900	25 100	22 700	30 900	22 700
» à vitesse uniforme		5 400	5 400				7 800		5 400	7 800		7 800
» en freinage			— 3 230								— 2 800	— 5 400
Total des kilowatts-seconde	21 800	37 100	27 270	22 700	23 000	39 100	38 900	30 900	30 500	30 500	28 100	25 100
Kilowatts moyens par parcours	190	322	237	197	200	340	338	268	265	265	244	218
Kilovolts-ampères-secondes en marche accélératrice	21 800	37 000	33 600	22 700	23 000	44 900	35 800	40 000	33 600	32 100	40 000	32 100
» à vitesse uniforme		5 600	6 600				9 500		6 600	9 500		9 500
» en freinage			7 730								5 400	10 600
Total des kilovolts-ampères-seconde	21 800	43 600	47 900	22 700	23 000	44 900	45 300	40 000	40 200	41 600	45 400	52 200
Kilovolts-ampères moyens par parcours	190	379	416	197	200	390	394	348	350	462	394	454
Maximum des kilowatts par parcours	780	977	977	912	725	1 080	965	1 080	977	965	1 080	965
Maximum des kilovolts-ampères par parcours	780	1 140	1 140	912	725	1 240	1 110	1 240	1 140	1 110	1 240	1 110
Watts-heure par tonne-kilomètre	48	82	60	49,8	50	86	85,5	67,6	67	67	62	55
Volts-ampères-heure par tonne-kilomètre	48	94	103	49,8	50	99	99	88	88,7	92	99	115
Rapport $\frac{\text{kw moyens alternatifs}}{\text{kw moyens continus}}$		1,72	1,26			1,80	1,79	1.41	1,40	1,40	1.30	1,16
Rapport $\frac{\text{kw moyens alternatifs}}{\text{kw moyens continus}}$		1,97	2,20			2,07	2,09	1,85	1,85	1,92	2,09	2,40
Facteur de puissance moyen	1	0,87	0,57	1	1	0,87	0,86	0.77	0,755	0,73	0,62	0,48

Si le groupement de moteurs en cascade n'est fait que pendant la période d'accélération, il y a intérêt à pousser la vitesse maxima de manière à marcher en vitesse acquise aussi longtemps que possible avant l'application des freins. Si le couplage en cascade sert à la récupération et au freinage, on peut avoir intérêt à ne plus observer cette période de ralentissement et à maintenir la vitesse maxima jusqu'au moment de l'application des sabots de frein.

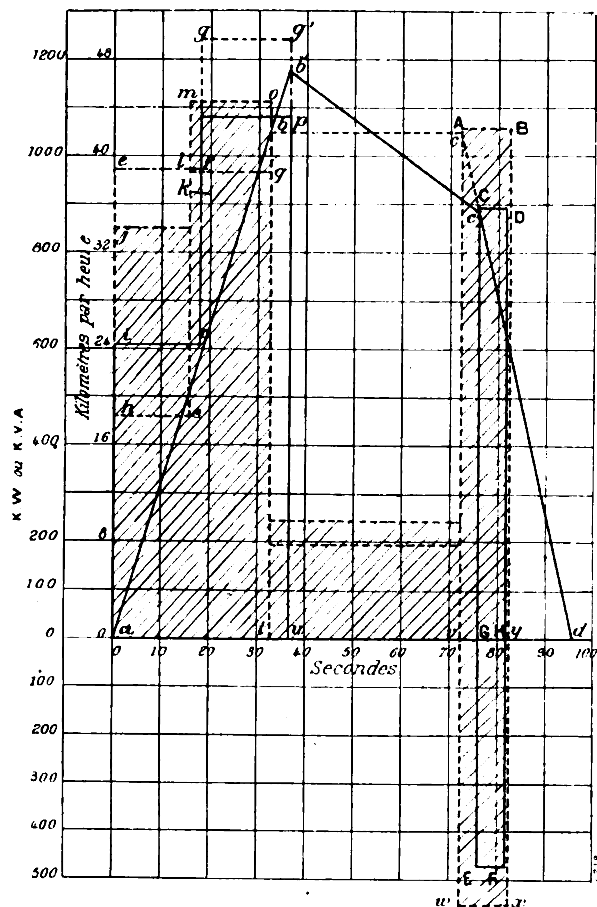


Fig. 4.

abcd et *a'b'c'd'* Courbes de vitesse en fonction du temps. — *ajkmotu*AB*y* Kilovolts-ampères absorbés sans période de marche en vitesse acquise. — *ahslqt-vwxy* Énergie absorbée sans période de marche en vitesse acquise. — *aefgg'u* GCDH Kilovolts-ampères absorbés avec période de marche en vitesse acquise. — *oirnpu*-GEFH énergie absorbée avec période de marche en vitesse acquise.

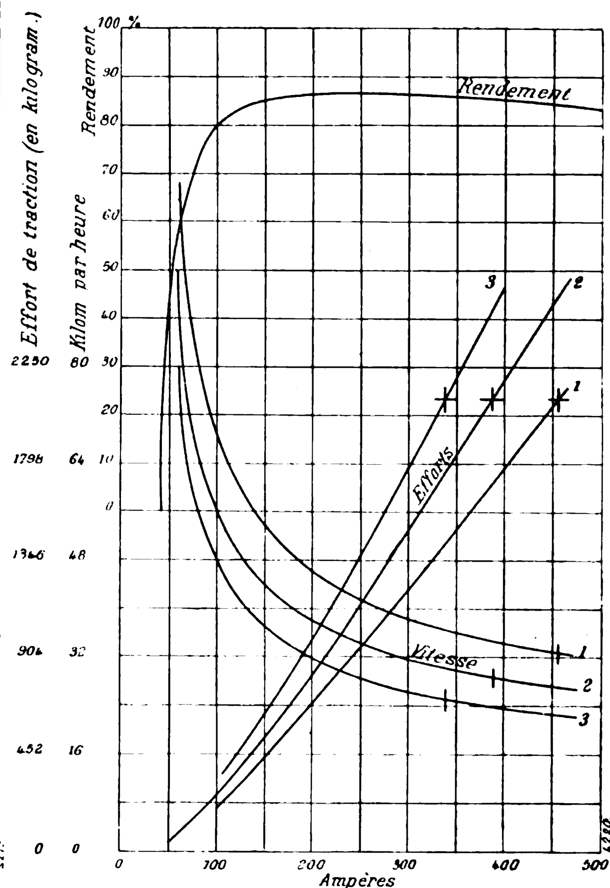


Fig. 5. — Caractéristiques des moteurs à courant continu (engrenages compris).

C'est cette méthode, groupement en cascade pour l'accélération et pour le ralentissement, qui donne la consommation minima d'énergie par courant alternatif. Elle est même plus économique que celle de la figure 2 et correspond à une consommation d'énergie ne dépassant pas de plus de 15 p. 100 la consommation correspondant aux moteurs à courant continu. Mais elle présente l'inconvénient d'une puissance apparente considérable, égale à 2,4 fois la puissance apparente en courant continu ; aussi n'est-elle pas, en somme, la méthode la plus favorable aux courants alternatifs, et la meilleure est en définitive celle de la figure 2.

Les résultats importants des divers parcours sont réunis dans le tableau ci-dessus, qui permet plus commodément que les courbes les recherches comparatives.

Les colonnes A, B et C sont les plus importantes, puisqu'elles représentent les conditions des

meilleurs parcours ; c'est sur les constantes qui y sont inscrites et sur les courbes correspondantes que reposent tous les calculs faits.

Les colonnes D et E représentent deux parcours pour moteurs à courant continu avec différents rapports d'engrenage.

Les colonnes F et G représentent deux parcours avec contrôle rhéostatique seulement.

Les colonnes H, I et J représentent trois parcours avec couplage en cascade pour l'accélération seulement.

Les colonnes K et L représentent deux parcours avec couplage en cascade pour le freinage et le ralentissement.

Pour plus de détails, on peut se reporter aux courbes déjà citées, la figure 1 correspondant à la colonne A, la figure 2 aux colonnes B et C.

Les figures 5, 6 et 7 représentent les courbes caractéristiques des moteurs.

La figure 5, de moteurs à courant continu.

La figure 6, de moteurs à courant alternatif.

La figure 7, les mêmes groupés en cascade.

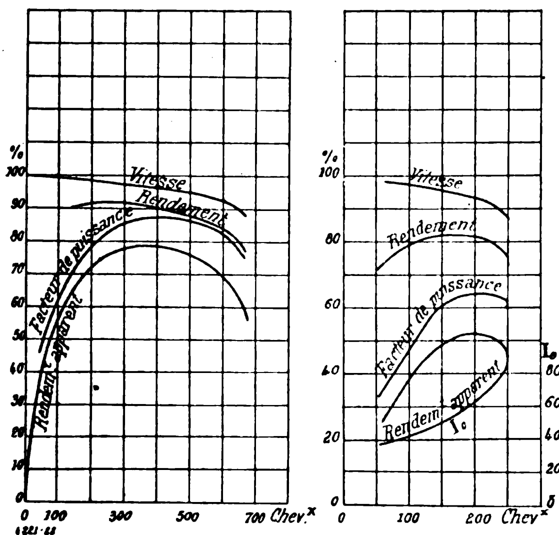


Fig. 6. — Caractéristiques des moteurs à courant alternatif (engrenages non compris).

Fig. 7. — Caractéristiques de chacun des deux moteurs en cascade.

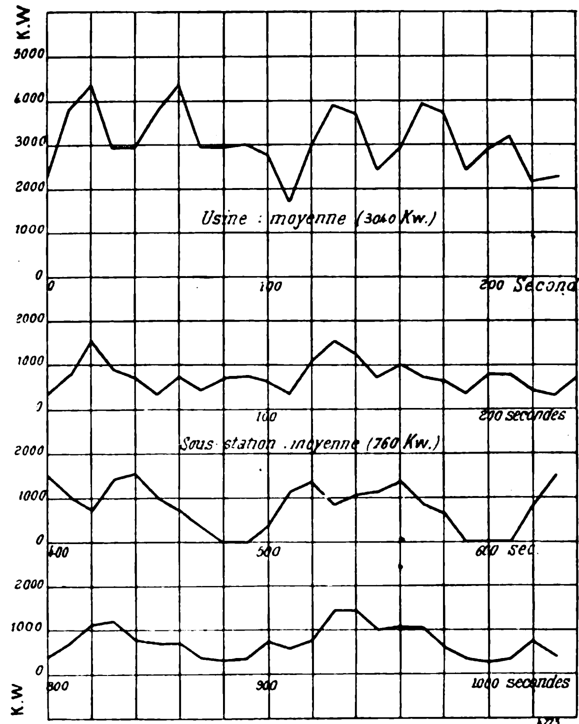


Fig. 8. — Diagramme de charge.

Usine et sous-stations. Moteurs à courant continu, commande série-parallèle (pertes non comprises).

On ne s'est servi d'aucune courbe spéciale pour la récupération dans le dernier cas, puisque les courbes d'un moteur fonctionnant comme génératrice, pour la récupération, demeurent essentiellement les mêmes.

En résumé, la comparaison donne les résultats suivants :

1° Qu'elle soit faite pour les parcours moyens des deux types ou pour les parcours plus économiques, on trouve que la consommation en courant alternatif dépasse de 26 p. 100 la consommation en courant continu, les volts-ampères sont 2,2 fois plus élevés.

2° La commande par groupement en cascade consomme 26 p. 100 de moins que la commande rhéostatique, mais 10 p. 100 de plus en puissance apparente.

Bien entendu, tout ce qui précède est relatif à l'énergie ou aux volts-ampères absorbés par les moteurs, sans considération des sous-stations et de l'usine génératrice.

Nous allons procéder maintenant à l'examen de celles-ci.

*****

III. Sous-stations et usine génératrice. — Une usine génératrice alimente à 11 500 volts quatre sous-stations situées respectivement aux distances suivantes de l'usine : la première à 5 000 m environ, la seconde à 5 300 m, la troisième à 6 950 m et la quatrième à 10 700 m.

Au point de vue de l'alimentation du réseau, les distances imposent dans les trois cas également un voltage élevé, pour lequel nous avons pris des génératrices triphasées, directement enroulées pour 11 500 volts.

A. *Moteurs à courant continu à commande série parallèle.* — La voie est double et composée de rails de 38 kg le mètre, les sections des feeders pour les deux voies sont d'environ 645 mm². Dans les calculs, toutes les voies et tous les feeders sont supposés réunis, la résistance des rails d'acier est prise à 12 fois celle du cuivre correspondant, celle des connexions de rails à 50 p. 100 de celle des rails, donc la résistance ohmique de 4 rails en parallèle, réunissant deux sous-stations (distantes en moyenne de 5 200 m) est de 0,09 ohm, la résistance correspondante de cuivre, 0,159 ohm et la résistance totale, 0,25 ohm.

Chaque sous-station comporte trois convertisseurs de 650 kw (dont un de réserve) et dix transformateurs de 240 kw (dont un de réserve). Les lignes à haute tension comportent deux câbles n° O B et S (53,5 mm², dont un de réserve), pour chacune des deux stations distantes et deux câbles n° 3 B et S (27 mm²) pour chacune des deux sous-stations intermédiaires.

Les transformateurs ont une perte Joule de 2 p. 100 à pleine charge et une perte dans le fer de 1 p. 100.

La commutatrice conserve un rendement de 94 p. 100 sur une assez grande étendue de sa charge.

L'usine génératrice comporte quatre groupes électrogènes de 1 600 kw (dont un de réserve).

Conformément à la figure 8, nous trouvons aux pertes près :

	Kilowatts. ou kilovolts-ampères.
Charge moyenne en kilowatts sur une sous-station	760
Charge maxima sur une sous-station	1 600
Charge moyenne sur l'usine génératrice	3 040
Charge maxima sur l'usine génératrice	4 400
Si on ajoute les pertes dues aux rendements, cela donne pour charge moyenne réelle sur chaque sous-station	832
Charge maxima sur une sous-station	1 910
Charge moyenne sur l'usine génératrice	3 650
Charge maxima sur l'usine génératrice	5 650

Les convertisseurs ont une charge moyenne de	64 p. 100.
» » maxima de	146 »
Les génératrices ont une charge moyenne de	76 »
» » maxima de	118 »

B. *Moteurs à courant alternatif à commande rhéostatique.* — Ils sont alimentés par quatre sous-stations au voltage moyen de 3 000 volts, par deux lignes à trolley, triphasées, reliées entre elles, en fil n° 00 B et S (67,4 mm²).

Chaque sous-station comporte quatre transformateurs de 700 kw (dont un de réserve). Les lignes à haute tension sont constituées par deux fils n° 00 B et S pour les sous-stations extrêmes et de fils n° 2 B et S (33,6 mm²) pour les sous-stations moyennes.

La station génératrice comprend cinq groupes électrogènes de 1 800 kw à 11 500 volts.

D'après les diagrammes de charge (fig. 9 et 10), on trouve, aux pertes près :

	Kilowatts. ou kilovolts-ampères.
Puissance moyenne des sous-stations	1 290
Kilovolts-ampères moyenne	1 515
Puissance maxima	2 300
Kilovolts-ampères maximum	2 800
Puissance moyenne de la station génératrice	5 150
Kilovolts-ampères moyenne	6 060

	Kilowatts. ou kilovolts-ampères.
Puissance maxima	7 100
Kilovolts-ampères maximum	8 300
Cela donne un débit moyen de l'usine en kilowatts	5 600
» » en kilovolts-ampères	6 500
» maximum » en kilowatts	7 780
» » » en kilovolts-ampères	8 880

Les alternateurs fonctionnent à 90 p. 100 de charge en moyenne.
» » 123 » au maximum.
Les moteurs à vapeur » 92 » en moyenne.
» » 126 » au maximum.

C. *Moteurs à courant alternatif à concaténation.* — Le réseau secondaire est le même que le

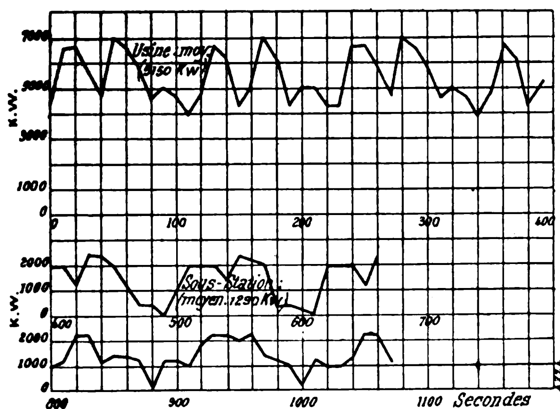


Fig. 9. — Diagramme de charge.
Moteurs à courant alternatif à commandes rhéostatiques (pertes non comprises).

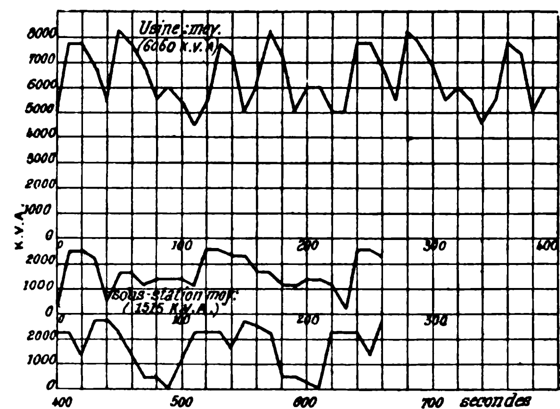


Fig. 10. — Diagramme de charge.
Moteurs à courant alternatif à commandes rhéostatiques (pertes non comprises).

précédent. Mais les lignes à haute tension sont, pour les quatre sous stations, composées de fils n° 000 B et S (85 mm²).

Chacune des quatre sous-stations comporte quatre transformateurs de 800 kw.

L'usine génératrice comporte cinq groupes secondaires de 2 000 kw.

D'après les diagrammes de charge (fig. 11 et 12), on trouve, aux pertes près :

	Kilowatts ou kilovolts-ampères.
Puissance moyenne des sous-stations	948
Kilovolts-ampères »	1 660
Puissance maxima »	2 000
Kilovolts-ampères »	3 500
Puissance moyenne de l'usine génératrice	3 800
Kilovolts-ampères »	6 650
Puissance maxima »	6 000
Kilovolts-ampères »	10 000
Cela donne un régime moyen en kilowatts	4 170
» » en kilovolts-ampères	6 850
» maxima en kilowatts	6 000
» » en kilovolts-ampères	10 000

Les génératrices fonctionnent à . . . 85 p. 100 de charge en moyenne.
» » 125 » au maximum.
Les moteurs à vapeur fonctionnent à 75 » en moyenne.
» » 107 » au maximum.

Les prix de vente des divers appareils sont donnés dans le tableau suivant :

	Francs.	
Matériel à vapeur et installation	390	par kw
Génératrices à haute tension, tableau de distribution et instruments	135	»
Sous-stations, commutatrices et appareils	208	»
Transformateurs de 700 kilowatts	23,40	»
Locomotives électriques à courant continu, complètes	78 000	
» » alternatif »	99 000	
Voitures de voyageurs à 70 places	23 400	
Câbles à haute tension (10 000 volts) n° 000 B et S	5 512	par km
» » n° 00 »	4 836	»

	Francs.	
Câbles à haute tension (10 000 volts) n° 0 B et S	4 368	au km
» » 1 »	3 692	»
» » 2 »	3 380	»
» » 3 »	3 120	»
Cuivre (prix par livre)	0,96	
Trôlet, à courant continu, le mètre	4 700	
Trôlet à courant alternatif, le mètre	6 250	
Rail de 38 kg, la tonne	135	
Construction de la voie, le km	1 620	

FRAIS D'INSTALLATION ET QUANTITÉS D'ÉNERGIE NÉCESSAIRES

A. Moteurs à courant continu à commande série parallèle.
B. » alternatif » rhéostatique.
C. » » » série parallèle.

	A	B	C
Usine génératrice, installation à vapeur	2 500 000	3 200 000	2 730 000
» » électrique	860 000	1 200 000	1 350 000
	3 360 000	4 400 000	4 080 000
Convertisseurs	1 623 000		
Transformateurs		262 000	299 000
17 locomotives complètes	1 325 000	1 683 000	1 683 000
Voitures de 68 voyageurs	1 437 000	1 582 000	1 582 000
	2 762 000	3 265 000	3 255 000
Câbles en double	816 400	894 400	1 903 200
Trôlet et feeder	254 800	161 200	161 200
	1 071 200	1 055 600	2 064 400
Matériel et construction	566 800	566 800	566 800
Construction de trôlet	121 680	162 240	162 240
	688 480	729 040	729 040
Total	9 656 400	9 651 200	10 441 600

En résumé, on peut conclure que dans le cas particulier examiné, qui représente assez bien un service métropolitain, le courant continu offre des avantages décisifs en économie d'accélération si son prix de revient est le même que celui du courant alternatif, et la même économie est impossible avec courant alternatif quel que soit le prix qu'on veuille y mettre.

De plus, le courant alternatif à commande série parallèle est meilleur que celui à commande rhéostatique.

On doit bien penser cependant que, dans la réalisation pratique d'une installation, il peut se présenter des conditions pratiques qui conduisent à adopter des puissances et des unités différentes de machines ; de plus, on doit tenir compte des courbes, des rampes, etc. Enfin, on peut observer que les prix ci-dessus offrent un certain degré d'arbitraire, malgré les efforts faits par l'auteur pour placer les trois systèmes dans des conditions bien identiques de comparaison.

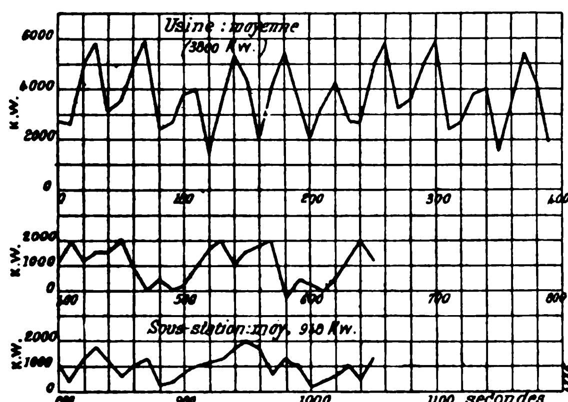


Fig. 11. — Diagramme de charge.
Moteur à courant alternatif à concaténation (pertes non comprises).

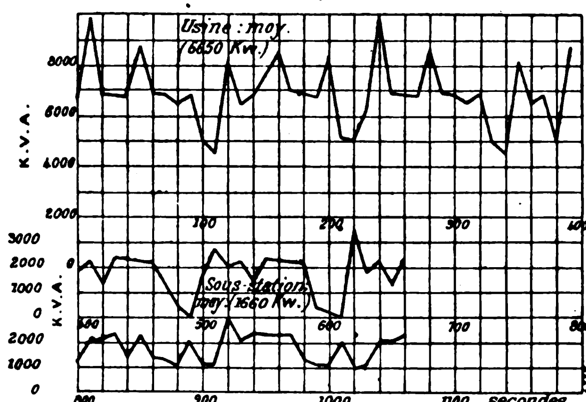


Fig. 12. — Diagramme de charge.
Moteur à courant alternatif à concaténation (pertes non comprises).

Pour conclusion, on peut dire qu'en raison des avantages des moteurs à courant continu, comparés à ceux des moteurs à courant alternatif employés au même service, il y a peu de cas où l'usage de ces derniers soit économique. Est-ce à dire que les moteurs à courant alternatif n'auraient pas leur application dans la traction ? L'auteur pense au contraire qu'ils peuvent avoir des applications, mais très limitées, et seulement dans des installations de traction à longue distance avec peu d'arrêts et notamment dans les lignes de montagnes.

P. Letheule.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

BOBINES D'INDUCTION

Étude de la bobine d'induction d'après ses éléments caractéristiques, par **Fr. Klingelfuss**. *Drude's Ann.* t. V, p. 837-871, juillet 1901,

1. *Variation de la longueur de l'étincelle avec le nombre de spires.* — La longueur de l'étincelle secondaire obtenue avec une bobine formée d'un noyau de fer et d'un enroulement primaire donnés, fonctionnant avec la même induction magnétique, croît proportionnellement au nombre de spires de l'enroulement secondaire. On suppose que la capacité du condensateur primaire reste aussi invariable.

Lorsqu'on dispose un noyau de fer presque fermé, la longueur de l'étincelle et son volume sont beaucoup plus grands qu'on ne peut l'obtenir avec un simple noyau cylindrique. L'intervalle entre les extrémités du noyau doit être d'environ 1 cm si on veut réaliser l'effet maximum : si le circuit magnétique est complètement fermé, la longueur d'étincelle éprouve une diminution notable.

Cependant, au point de vue de la construction, cet emploi d'un noyau presque fermé a un inconvénient qui limite la longueur de l'étincelle : le noyau se trouve trop près des pôles de

la bobine ; les étincelles éclatent entre le noyau et ces pôles.

La longueur des étincelles augmente (jusqu'à de 25 p. 100 de sa valeur) quand on fait croître le rapport de la section du noyau à sa longueur.

Dans toutes les expériences qui vont être décrites, l'interrupteur employé était un interrupteur mu à la main, formé par un fil de cuivre amalgamé qu'on plongeait dans une masse de mercure recouverte de pétrole. Le mercure communique avec l'un des pôles de la source de courant, le fil de cuivre avec l'autre. Il faut faire sortir le fil du mercure avec une certaine vitesse, qu'avec un peu d'habitude on arrive à apprécier assez exactement.

D'après ces expériences de M. Klingelfuss, on pourrait obtenir les mêmes longueurs d'étincelle que dans les bobines actuelles, avec beaucoup moins de spires secondaires. Il trouve que 38 000 spires suffiraient à donner la même étincelle (30 à 45 cm) que les 153 000 spires d'une bobine construite dans ces dernières années par Carpentier. Si on admet que l'explosion de l'étincelle d'une longueur déterminée correspond toujours à une différence de potentiel déterminée entre les extrémités du secondaire, on voit aisément que la différence de potentiel entre deux spires voisines est d'autant plus grande que le nombre de spires est plus petit. Les spires d'une bobine doivent donc être isolées d'autant mieux qu'elles sont moins nombreuses.

2. *Influence de l'extra-courant sur la force électromotrice induite.* — Dans les transformateurs industriels, dont le mode de construction présente de grandes analogies avec celui des bobines d'induction, les différences de potentiel aux bornes des deux enroulements sont entre elles comme les nombres de spires.

Si on calcule de cette manière la différence de potentiel aux bornes du secondaire d'une bobine, en considérant comme différence de potentiel primaire celle qui résulte du courant primaire, on trouve qu'elle suffirait à peine pour produire une étincelle longue de quelques millimètres, alors que l'étincelle réalisée atteint une vingtaine de centimètres. Par des mesures directes, on peut s'assurer que la force électromotrice induite dans le primaire par la rupture du courant peut être 100 ou 200 fois plus grande que la force électromotrice du courant lui-même. L'extra-courant se produit sous forme d'oscillations entre le primaire et le condensateur. Ces oscillations entraînent des renversements d'aimantation du noyau : ce sont ces variations très rapides du flux magnétique qui provoquent dans le secondaire les forces électromotrices extrêmement grandes qu'on y observe.

L'extra-courant doit donc jouer un rôle prépondérant dans les phénomènes dont la bobine est le siège. On peut se rendre compte jusqu'à un certain point des valeurs qu'atteint la différence de potentiel produite par ce courant, en mesurant la longueur maxima de l'étincelle qu'elle est susceptible de faire éclater. Quand il n'y a pas de secondaire enroulé autour du primaire, la longueur de cette étincelle croît proportionnellement à l'intensité I, du courant primaire. Elle croît beaucoup moins vite que cette intensité quand on a disposé le secondaire sur le primaire. Mais ce n'est qu'une apparence due à ce que la différence de potentiel entre les pôles d'une étincelle augmente avec l'intensité, que la longueur d'air traversée soit petite ou grande.

3. *Différence de potentiel entre les extrémités du secondaire quand les étincelles éclatent.* — Lorsque les pôles du secondaire sont écartés à une certaine distance, et qu'on fait croître progressivement l'intensité du courant primaire, il arrive qu'à partir d'une certaine valeur de cette dernière, les étincelles éclatent régulièrement entre les pôles du secondaire. A ce moment la différence de potentiel due à l'extra-courant primaire a une certaine valeur qu'on peut déduire de la longueur de l'étincelle primaire, comme il a été dit dans le paragraphe précédent. Si on multiplie cette différence de potentiel par le rapport de transformation des deux circuits (rapport des nombres de spires), on trouve des nombres qui présentent une coïncidence remarquable avec la différence de potentiel secondaire déduite de la longueur de l'étincelle. La différence de potentiel aux bornes du secondaire est proportionnelle au flux magnétique qui en traverse le noyau, au moins tant qu'on peut regarder dans une première approximation l'induction magnétique comme proportionnelle à l'intensité du courant magnétisant. Mais la longueur de l'étincelle n'est pas proportionnelle à la différence de potentiel : celle-ci croît plus

vite. Tant qu'on ne change pas la capacité, la différence de potentielle explosive paraît dépendre de la résistance offerte à l'étincelle et de l'intensité de la décharge. Cela tient sans doute aux décharges par aigrettes qui précèdent l'étincelle proprement dite ; ces aigrettes entrainent une perte de charge, et, pour compenser cette perte de charge, il faut que la différence de potentiel induite soit plus élevée que celle qui correspondrait à l'étincelle même.

Pour une même valeur de l'induction magnétique et de la capacité du condensateur, la force électromotrice induite par une bobine est indépendante de la longueur de l'étincelle secondaire.



Fig. 1. — Etincelle produite par une seule interruption non soufflée.

4. *Influence du condensateur.* — Le volume de l'étincelle croît quand on augmente la capacité du condensateur primaire. Des étincelles en apparence de même volume et de même longueur peuvent correspondre à des différences de potentiel inégales, selon la capacité du condensateur : plus la capacité du condensateur est grande, plus la différence de potentiel est petite, en supposant que l'induction magnétique soit la même.



Fig. 2. — Etincelle produite par une seule interruption soufflée.

Pour étudier de plus près l'influence du condensateur, il est commode d'observer ce que devient l'étincelle quand on la souffle. On remarque alors dans l'étincelle une série de lignes parallèles entre elles, très bien dessinées. Si la vitesse du courant d'air reste la même, ces lignes seront d'autant plus serrées que les décharges partielles se succèderont plus rapidement et inversement (fig. 1 à 3). De la vitesse du courant d'air et de la distance de deux de ces lignes, on déduira l'intervalle de temps qui sépare deux décharges partielles consécutives. On trouve que cet intervalle varie quand on fait varier ou la capacité du condensateur ou l'intensité du courant primaire. Mais elle reste la même quand on fait varier seulement, entre certaines limites, l'épaisseur d'air traversée par la décharge.

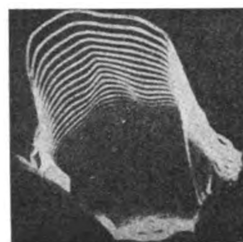


Fig. 3. — Décharge de quatre petites bouteilles de Leyde chargées par une seule interruption du courant primaire, étincelle soufflée.

Les décharges partielles doivent être synchrones de la variation du flux magnétique et par conséquent des demi-périodes des oscillations dans le condensateur ; si on calcule la valeur de cette période, en fonction des éléments caractéristiques de la bobine, on trouve des nombres qui coïncident d'une manière très satisfaisante avec ceux qu'on déduit de l'observation des décharges partielles, comme il vient d'être dit.

En pratique, le point capital est de pouvoir donner à la bobine son maximum de puissance sans courir le danger de percer la couche isolante qui recouvre le fil induit. M. Klingelfuss appelle état normal de la bobine celui qui remplit cette condition. Dans l'état normal, la capacité et l'intensité du courant primaire sont dans un rapport tel qu'on peut réaliser le maximum de longueur d'étincelle, mais qu'on ne peut plus l'atteindre dès qu'on augmente la capacité ou qu'on diminue l'intensité. Il est donc indispensable que, dans une bobine construite d'une manière rationnelle, le condensateur primaire soit à capacité variable.

5. *Bobines construites d'après les principes précédents.* — L'auteur a fait construire une

bobine donnant une forte étincelle de 80 cm par une interruption isolée et qui, reliée à un interrupteur électrolytique, donne un puissant flux d'étincelles, très bruyant sur une longueur de 83 cm.

Le primaire porte deux enroulements distincts, comprenant, l'un 600 spires de fil ayant 0,03 cm² de section pour être utilisé avec les interrupteurs mécaniques, l'autre, 140 spires de fil ayant 0,12 cm² de section pour être utilisé avec les interrupteurs électrolytiques. Il est à remarquer que les grosses bobines, pour 100 cm d'étincelle, demandent un condensateur de très petite capacité, 0,1 microfarad par exemple.

M. L.

MAGNÉTISME

Effets électromagnétiques produits par des sphères chargées en mouvement, par **Edwin-P. Adams**. *Phil. Mag.* [VI], t. II, p. 285-300. 1901.

Ces expériences de M. P. Adams sont relatives à la convection électrique; il est donc bon d'insister un peu plus sur le principe de la méthode employée par l'auteur et les résultats qu'il a obtenus. M. Adams a d'abord été étonné — comme tout le monde scientifique d'ailleurs — des résultats négatifs et des *affirmations* de M. Crémieu, et c'est dans l'espoir d'élucider un peu cette question qu'il a entrepris les expériences dont nous allons présenter le principe dans la suite de cette note. Le principe de la méthode adoptée par M. Adams — et qui semble la plus naturelle — a été donné par M. J.-J. Thomson (*Phil. Mag.*, t. XI, p. 236, 1881) en 1881; elle consiste à mesurer l'effet magnétique produit par le mouvement d'une sphère chargée au potentiel le plus élevé possible. Cette force magnétique est d'ailleurs calculable : elle a pour valeur [1] :

$$H = \frac{qv \sin \varepsilon}{\rho^2} \qquad (1)$$

où q = charge en mouvement;
v = vitesse de mouvement de la charge;
ρ = rayon vecteur allant de la charge au point où on mesure H;
ε = angle de ρ avec la direction du mouvement.

Ceci en supposant que la charge de la sphère est concentrée en son centre. La force magnétique agit dans ces conditions dans une direction perpendiculaire à ρ et à la direction du mouvement.

Fig. 1.

Quant à sin ε, on l'obtient par un calcul des plus simples, sous la forme suivante :

$$\sin \varepsilon = \sqrt{\frac{(d \cos \theta - c)^2 + b^2}{d^2 + b^2 + c^2 - 2dc \cos \theta}}$$

où (voir figure) ρ = PA;
b = OB;
d = PB;
c = OC = OA = rayon de révolution;
ε = angle de ρ avec la tangente en A.
θ = angle du rayon vertical avec le rayon passant par A.

Pour avoir la composante de la force (1) dans la direction de la normale au plan de révolution, appelons ψ l'angle de la direction de la force avec la normale au plan de révolution, angle d'ailleurs déterminé par :

$$\cos \psi = \frac{d \cos \theta - c}{\sqrt{(d \cos \theta - c)^2 + b^2}}$$

Il vient alors

$$X = \frac{2\pi N c q (d \cos \theta - c)}{V [d^2 + b^2 + c^2 - 2dc \cos \theta]^{\frac{3}{2}}}$$

avec $2\pi Nc = v$
où N = nombre de tours par seconde, et V = rapport des unités.

X est donc la composante de la force magnétique en P *dans la direction de l'axe*, due à la sphère placée en A.

Comment déceler cette force magnétique? —

[1] J.-J. Thomson, *Phil. Mag.*, t. XI, p. 236, 1881. Heaviside, *Electrical Papers*, t. II, p. 505.

Au moyen d'un système astatique situé au voisinage immédiat de la sphère (ou des sphères) en question et enfermé dans un écran électrostatique.

Désignons alors, pour simplifier, par

$$\frac{2\pi Nq}{V} \times A \tag{2}$$

la valeur moyenne de la force sur l'aiguille inférieure du système astatique, et par

$$\frac{2\pi Nq}{V} \times B$$

la valeur moyenne de la force sur l'aiguille supérieure.

Il est évident que l'effet produit par ces forces sur le système astatique sera le même si l'on remplace ces forces par d'autres, d'origine différente, mais de même ordre de grandeur que les premières. On pourrait alors obtenir même résultat en imaginant deux bobines passant par les centres de deux séries de sphères à travers lesquelles (les bobines) on lance des courants de sens opposés et de grandeurs telles qu'il y ait même quantité d'électricité passant en un point (par seconde) que dans le cas des sphères chargées. La force agissant sur l'aiguille inférieure du système astatique et due à la bobine calibrante est alors

$$\frac{2\pi I h^2}{(h^2+x^2)^{\frac{3}{2}}} = 2\pi I \times C$$

et la force agissant sur l'aiguille supérieure,

$$2\pi I\left[\frac{1}{r}\left(\frac{h}{r}\right)^2 P_2(\cos\theta) - \frac{1}{r}\,\frac{3}{2}\left(\frac{h}{r}\right)^4 P_4(\cos\theta) + \ldots\right] = 2\pi I \times D$$

où h = rayon de la bobine;
x = sa distance au plan des aiguilles;
r = la distance du centre de la bobine à l'aiguille supérieure;
θ = l'angle de l'axe de la bobine avec r.

En égalant, maintenant, le couple, agissant sur le système astatique, dû au champ terrestre, au couple agissant sur le même système astatique et dû au courant dans la bobine de calibrage, on obtient, en posant $\frac{M}{M'} = 1$,

$$\frac{HM - H'M'}{M} = \frac{2\pi I(C-D)}{\tan g\,\theta}$$

où H = force magnétique terrestre horizontale au centre de l'aiguille inférieure;
H' = force magnétique terrestre horizontale au centre de l'aiguille supérieure;
M = moment de l'aiguille inférieure;
M' = moment de l'aiguille supérieure;
θ = déviation angulaire du système astatique produite par le courant de la bobine.

De même, en égalant le couple agissant sur le système astatique dû au champ terrestre avec le couple produit par le mouvement des sphères chargées, il vient

$$\frac{HM - H'M'}{M} = \frac{2\pi Nq(A-B)}{V\tan\Phi};$$

d'où

$$V = \frac{(A-B)Nq\tan\theta}{(C-D)I\tan\Phi},$$

où Φ = déviation angulaire produite par le mouvement des sphères chargées.

Ou encore, en désignant par δ la déviation sur l'échelle, en renversant le courant I, et par Δ la déviation obtenue en renversant la charge des sphères

$$V = \frac{A-B}{C-D}\,\frac{Nq}{I}\,\frac{\delta}{\Delta}.$$

Le courant envoyé à travers la bobine de calibrage pour déterminer la constante de l'aiguille était mesuré au moyen d'un milliampèremètre de Weston.

L'appareil était disposé de la manière suivante:

Les sphères étaient creuses et formées de deux hémisphères découpés dans une plaque mince de cuivre et soudés ensemble. Elles étaient au nombre de 6 et elles étaient reliées radialement, au moyen d'une mince tige, à une bague fixée sur un arbre isolant qui pouvait tourner à une vitesse de 50 tours par seconde (environ). Le système astatique était situé à une très faible distance de ces sphères, et il était protégé contre les actions électrostatiques au moyen d'un écran électrostatique.

Pour éviter les charges produites par influence sur les conducteurs se trouvant dans le voisinage des sphères chargées et dont l'effet différentiel sur le système astatique ne pouvait pas être déterminé avec précision, on a utilisé deux séries de sphères chargées d'électricité contraire, reliées à deux bagues différentes, et montées sur le même arbre isolant à une distance d'environ 8 cm l'une de l'autre (distance des bagues) (¹).

(¹) La charge de chaque sphère était calculée par la méthode des images, les charges des autres sphères

En substituant dans les formules précédentes les données numériques suivantes :

Rayon des sphères	1,35
c	20,38
d	22,91
d'	29,28
b	8,16
x	19,30
h	2,55

on trouve

$$A - B = 1,541$$
$$C - D = 0,000232$$
$$q = 1,35 \times 63$$

Et finalement, on a les valeurs de V comprises dans le tableau ci-dessous :

N	Δ	I	δ	V
42	6,7	0,00364	26	$2,6 \times 10^{10}$
55	10,6	0,00355	31	2,6
55	9,0	0,00355	31	3,1
49	11,3	0,00298	29	2,9
41	5,5	0,00280	15	2,7
48	7,0	0,00280	15	2,6
Moyenne $V = 2,8 \times 10^{10}$				

Eugène Néculcéa.

Calcul des constantes de la formule de l'induction magnétique, par le Dr **E. Müllendorff**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XIII, p. 25, 9 janvier 1902.

L'auteur développe le calcul des constantes des deux formules qu'il a établies précédemment.

$$\mathfrak{B} = ae^{-\frac{\gamma}{M^{\mu}}} + \alpha M \qquad (1)$$

$$\mathfrak{B} = a\left[1 - \frac{1}{(1 + cM^{m})^{n}}\right] + \alpha M \qquad (2)$$

dans lesquelles $\mathfrak{B}$ désigne l'induction, M le nombre d'ampère-tours par cm, a le maximum de renforcement du champ dû à l'aimantation pour le métal étudié, γ et μ, c, m et n des constantes, dépendant du métal, α la valeur $\frac{4\pi}{10} = 1,25$ environ.

Sans entrer dans ces calculs, nous donnerons les résultats obtenus par l'auteur dans l'application des formules (1) et (2), à la représentation des tableaux établis par G. Kapp (*Constructions électromécaniques*, p. 8).

L'auteur a calculé les formules en étudiant les trois points $M_1 = 2$, $M_1 = 10$, $M_1 = 50$, qui correspondent respectivement aux valeurs de l'induction.

2 000, 5 300 et 7 950 pour la fonte,
7 000, 13 300 et 15 600 pour le fer forgé,
7 900, 14 200 et 15 950 pour l'acier coulé,
9 000, 14 700 et 16 400 pour les tôles ordinaires d'induit.

Il a ainsi obtenu les valeurs suivantes des constantes.

		FONTE	FER FORGÉ	ACIER COULÉ	TÔLES D'INDUIT
Formule 1	a	10 430	16 340	16 330	16 830
	μ	0,55246	0,87660	1,02148	0,94855
	γ	2,422	1,5569	1,47360	1,208
Formule 2	a	16 430	15 340	16 330	16 830
	c	0,30903	0,58170	0,65238	0,84875
	m	1,2156	1,44874	1,66886	1,46940
	n	0,392	0,588	0,588	0,633

La concordance entre les formules (1) et (2) et les tableaux est excellente ; à partir de l'induction 3 500, l'erreur relative maximum est 1,6 p. 100 ; d'ailleurs la formule (2) donne une concordance plus parfaite que la formule (1).

On peut développer en série les deux formules, et on obtient

$$\mathfrak{B} = a\left(1 - \frac{\gamma}{M^{\mu}} + \frac{\gamma^2}{2\,!\,M^{2\mu}}\,a - \ldots (-1)^k \frac{\gamma^k}{k!M^{k\mu}} \pm \ldots\right) + \alpha M \qquad (1a)$$

valable pour $M > 0$, et

$$\mathfrak{B} = a\left[1 - \frac{1}{c^n M^{mn}} + \frac{n}{c^{n+1} M^{m(n+1)}} - \frac{n(n+1)}{2!}\,\frac{1}{c^{n+2} M^{m(n+2)}} + \ldots\right) + \alpha M \qquad (2a)$$

valable pour

$$M > \left(\frac{1}{c}\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Pour les grandes valeurs de M, on peut ne prendre que les deux premiers termes des séries. A. M.

Le Gérant : C. NAUD.

étant supposées concentrées en leurs centres. Nous avons alors (Maxwell, t. I, § 159) pour chaque sphère,

$$q = Pa - qa\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \ldots\right) + qa\left(\frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_4} + \ldots\right)$$

où P est le potentiel et f_1, f_2, ... les distances des centres des sphères.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES [1]

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

[1] Les analyses publiées sous la rubrique *Littérature des périodiques* sont indiquées par (*p*); celles publiées sous la rubrique *Littérature des brevets*, par (*b*); les analyses *bibliographiques*, par (B).

Oscillations hertziennes.

Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

Electro et Magnéto-optique.

Thermo-électricité. Électrocapillarité. Électrobiologie.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.

Transmission et Distribution.

Applications mécaniques.

Traction et Propulsion.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Expositions, Concours, Prix.

Bibliographie.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

C

D

E

F

G

H

P

R

S

T

U

V W

Z

Tome XXX Samedi 4 Janvier 1902. 9e Année. — N° 1

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Utilisation de l'énergie solaire. — Récemment nous reproduisions (t. XXIX, p. CXLIII) une information du *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* décrivant une installation de force motrice utilisant la chaleur du soleil ; dans le *Bulletin* de novembre (p. 843) se trouve le résumé suivant d'un article sur l'utilisation de la chaleur solaire, publié par le professeur THURSTON dans un récent numéro du *Cassier's Magazine*.

Les savants et les industriels s'occupent actuellement de la question suivante : Quand atteindrons-nous la période critique où les gisements de combustibles seront épuisés, et comment ferons-nous pour les remplacer?

S'il n'y a pas absolument péril en la demeure, on peut, cependant, prévoir comme assez prochain l'événement que nous venons de signaler et, déjà bien avant, la rareté du combustible amènera de graves perturbations dans notre système social. Le professeur Leslie, alors qu'il était géologue de l'État de Pensylvanie, et feu M. Eckley B. Cox, s'accordaient pour indiquer le terme d'une centaine d'années pour l'épuisement des houillières de cet État et pensaient que la fin du XXe siècle verrait la disparition, dans la contrée, des industries vivant grâce au combustible à bon marché et à la proximité des mines.

En Angleterre, la situation est encore bien plus grave, parce que les gisements de combustibles sont moins étendus et, dans plusieurs localités, ils manifestent déjà des symptômes d'épuisement. Il en est de même sur le continent européen, en France et en Allemagne notamment.

Heureusement il y a dans d'autres parties du globe, en Chine par exemple, d'énormes dépôts de charbon, à peine entamés jusqu'ici, mais ils s'épuiseront aussi à leur tour et il viendra finalement une époque où le monde civilisé, qui embrassera alors presque la totalité de la terre, devra recourir à une autre sorte d'énergie que celle qui est empruntée à la combustion de la houille.

La puissance hydraulique, qui vient après le moteur thermique comme importance, rendra encore alors de réels services, tant que l'humanité existera sur le globe, mais on ne saurait compter sur elle pour remplacer la vapeur. On peut se rendre facilement compte de l'exactitude de cette assertion.

L'auteur explique, par quelques exemples, que si la puissance que représente la chute moyenne d'eau pendant l'année sur la terre se traduit par un nombre énorme de chevaux, on ne peut en recueillir pratiquement qu'une très faible partie, parce que la production de la puissance exige non seulement un volume d'eau, mais encore une différence de niveau ou chute. Certains bassins, d'une grande étendue, ne présentent qu'une faible proportion des éléments permettant d'établir cette chute.

Il est certain, néammoins, que plus tard on devra recourir, autant que possible, à la puissance hydraulique, et que l'industrie arrivera à se grouper autour des chutes d'eau, dans les rayons correspondant à la transmission électrique par courants à haute tension. On en a déjà des exemples au Niagara et à Buffalo. Les chutes du Niagara sont susceptibles de fournir, si on les utilisait complètement, peut-être 4 à 5 millions de chevaux, et les rapides d'amont et d'aval de la chute un chiffre très important. Il ne faut

pas se dissimuler, toutefois, qu'il y a un point noir dans l'avenir de la puissance hydraulique, c'est le déboisement qui fait des progrès continus, au grand détriment de la régularité du débit des cours d'eau.

La force du vent est aussi une source d'énergie, provenant, comme la précédente, de l'énergie solaire qui détermine des courants dans l'atmosphère ; seulement cette force est encore plus variable que la force hydraulique et on ne peut compter sur elle pour un travail continu, sauf exceptions. Il faudrait pouvoir régulariser ou accumuler le travail du vent et, si on ne peut déclarer le problème irréalisable, on ne doit toutefois guère trop compter sur une solution efficace dans ce sens pour remplacer le charbon dans l'avenir.

La force des marées est une forme de l'énergie dont l'utilisation présente des difficultés spéciales. Elle possède une périodicité absolue, une régularité très suffisante, mais on n'a pas encore trouvé jusqu'ici de moyen pratique, efficace et économique de l'appliquer, sur une certaine échelle, aux besoins de l'industrie.

Ce n'est pas d'aujourd'hui qu'on a pensé à employer les rayons solaires, mais cette question a pris actuellement une réelle importance et attire l'attention des savants et des industriels.

Le célèbre ingénieur John Ericsson, dans l'ouvrage considérable qu'il a écrit, en 1876, pour résumer les travaux de sa vie entière, consacre une partie importante du volume à l'exposé de ses recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire et la quantité de travail qu'il est possible d'en retirer au moyen de machines spéciales. Ces appareils se composent, en principe, de réflecteurs coniques concentrant les rayons du soleil sur un foyer où se trouve placé un générateur de vapeur ou, d'une manière plus générale, un récepteur élevant la température d'un fluide agissant dans un moteur thermique. Ericsson résume comme suit les résultats obtenus par lui dans ces essais :

« Il a été constaté, par des expériences répétées, que l'appareil employé donne, pendant neuf heures par jour, pour les latitudes comprises entre l'équateur et 45°, une moyenne de 3,5 unités thermiques par minute, par pied carré de surface exposée perpendiculairement aux rayons solaires, ce qui fait, en mesures métriques, 9,5 calories par mètre carré et par heure. On peut donc obtenir une énergie correspondant à 0,9 chevaux par mètre carré ou 9 chevaux par 10 m^2 de surface exposée à la radiation solaire. On ne comptera, toutefois, que 1 cheval par 10 m^2 de surface exposée au soleil. Les districts qui ont à souffrir de l'excès de la chaleur du soleil sont nombreux sur la terre. Ainsi, il y a une zone où il ne pleut pour ainsi dire jamais et qui s'étend de la côte nord-ouest de l'Afrique à la Mongolie sur 10 000 km de longueur et 1 500 km de largeur, cette partie comprenant les côtes sud de la Méditerranée, la Haute-Egypte, la plus grande partie des côtes de la Mer Rouge, une partie de la Syrie, de la région arrosée par le Tigre et l'Euphrate, de l'Arabie, de la Perse, de la Chine et du Thibet, et enfin de la Mongolie.

» Dans l'autre hémisphère, on trouve les mêmes conditions dans la Basse-Californie, les hauts plateaux du Mexique et du Guatemala, la côte occidentale de l'Amérique du Sud, sur une longueur de près de 3 000 km ; ces parties souffrent toutes d'une chaleur intense et continue.

» Si on calcule l'énergie solaire qui s'exerce en

pure perte sur ces immenses étendues, on trouve des chiffres énormes. Si, par exemple, on prend une bande de terre de 1 500 m de largeur sur les bords de la Mer Rouge, sur la côte méridionale de la Méditerranée, sur les deux bords du Nil dans la Haute-Egypte, sur la côte ouest de l'Amérique du Sud, etc., formant une longueur collective de 12 000 km, on arrive à une superficie de 18 milliards de mètres carrés, soit 1 800 000 hectares. En comptant, comme précédemment, 1 cheval pour 1 m² ou 1 000 chevaux par hectare, on arrive au total effrayant de 1 800 millions de chevaux qu'on pourrait réaliser au moyen de 18 000 machines solaires de 100 chevaux fonctionnant neuf heures par jour.

» Le prochain épuisement des houillères européennes amènera un déplacement considérable dans la prééminence industrielle de divers pays, déplacement qui sera tout en faveur de ceux qui sont dans les meilleures conditions pour utiliser l'énergie solaire d'une manière à peu près continue.

» Ainsi, la Haute-Egypte est destinée à acquérir, dans les siècles qui suivront, une position politique considérable pour la raison qui vient d'être indiquée. Lorsque l'Europe devra arrêter ses usines faute de charbon, la Haute-Egypte invitera les manufacturiers dépossédés à lui apporter leurs métiers et à élever des deux côtés de la vallée du Nil des usines dont la force motrice sera empruntée à la chaleur du soleil, force motrice dont la puissance collective dépassera de beaucoup celle qui fait mouvoir actuellement la totalité des manufactures de l'Europe.

Le professeur de Volson Wood, un des savants les plus versés de notre époque dans la thermodynamique, estime qu'on peut obtenir, théoriquement, un cheval-vapeur par quatre pieds carrés de surface exposée au soleil, soit 2,7 chevaux par mètre carré, chiffre beaucoup plus élevé, naturellement, que celui qui a été donné plus haut, ce qui indique que les calculs d'Ericsson étaient très modérés. L'expérience faite à Pasadena, en Californie (voir *Supplément* du 14 décembre 1901, page CXLIII), a indiqué que les chiffres donnés par Ericsson peuvent être atteints en pratique.

Le défaut capital du moteur solaire est que, sauf dans des cas assez rares, on est loin de pouvoir compter toujours sur lui et, jusqu'ici, nous ne disposons pas de moyens pratiques d'accumuler des forces très considérables, pour suppléer à la disparition du soleil derrière les nuages, disparition qui peut durer des heures, des jours et même, dans certains pays (où, d'ailleurs, on ne songerait probablement pas à installer des moteurs solaires), des semaines. Il peut y avoir des localités où on pourrait utiliser des réservoirs naturels pour accumuler de la puissance, mais on ne saurait considérer cette solution que comme très exceptionnelle et somme toute, sauf dans les cas qui ont été indiqués plus haut, il est certain qu'une filature de coton, qui ne pourrait compter que sur le soleil pour faire tourner ses broches, ne donnerait vraisemblablement pas de forts dividendes.

La grosse objection à l'utilisation de la chaleur solaire est l'extrême variabilité de son action, car, comme puissance, elle est réellement effrayante. Le professeur Langley a calculé que, si tout le charbon contenu dans les houillères de Pensylvanie pouvait brûler pendant une seule seconde, il ne développerait pas, par sa combustion, la millième partie de la

chaleur qu'émet le soleil pendant le même temps. Il n'en est pas moins vrai que ces richesses houillères valent beaucoup plus pour nos besoins industriels que toute la chaleur dégagée par le soleil.

Le professeur Thurston conclut que :

Le destruction rapide et toujours croissante de nos approvisionnements de combustible minéral nous amènera, plus ou moins vite, au moment où nous devrons compter sur une autre source de puissance pour les besoins de l'industrie. La période actuelle pourra durer encore quelques générations, mais cependant on voit déjà, dans certains pays, des symptômes de cet épuisement.

Si le genre humain ne trouve pas quelque moyen de remplacer le charbon pour la production de la puissance, l'industrie manufacturière sera menacée d'être obligée d'abandonner les régions actuellement civilisées pour aller s'établir dans les pays tropicaux sous peine de cesser d'exister.

S'il est exact qu'une bande de terrain s'étendant sur 30° de chaque côté de l'équateur peut suffire aux besoins industriels d'une population de 10 milliards d'hommes, c'est-à-dire près de dix fois la population actuelle du globe, on peut prévoir que, si on ne trouve pas d'autre source de puissance, ces régions deviendront la partie civilisée de la terre.

Les autres sources de force motrice sont le vent et les chutes d'eau. La première est plus largement répandue que la seconde, mais elle est trop inconstante pour répondre aux besoins généraux de l'industrie. Les chutes d'eau, surtout avec le concours de la transmission électrique de la force à distance, donnent une solution beaucoup plus large de la question. Mais il est très douteux qu'elles puissent subvenir aux besoins des générations futures, même si, pour diverses raisons, le nombre des habitants du globe ne croissait, avec le temps, que dans des proportions très modérées.

L'action solaire peut fournir une immense quantité d'énergie par utilisation directe. Son emploi est pratique dans ce sens qu'il n'y a pas de difficultés de l'ordre mécanique qui s'opposent à l'installation et au fonctionnement d'appareils solaires. Mais elle est sujette à l'inconvénient de l'irrégularité et, si on cherchait à corriger cette irrégularité par l'usage de procédés d'accumulation, on arriverait à des frais d'établissement qui compenseraient probablement l'avantage de la gratuité de la marche des moteurs.

Il est certain que, dans les siècles futurs, quand les gisements de combustibles minéraux seront épuisés, on utilisera l'énergie solaire dans une mesure plus ou moins grande, mais la disparition du charbon ne sera pas la seule catastrophe qui menace notre industrie. Il est probable que, peut-être même avant les minerais de fer, les dépôts de platine et bien d'autres auront disparu également, que l'industrie de l'avenir verra bien des obstacles s'opposer à son développement, sinon même à son existence, et qu'il y aura bien d'autres problèmes à résoudre que celui du remplacement des combustibles.

Mais, pour en revenir à la question que nous traitons ici, le problème se pose de la manière suivante :

Trouver le moyen d'utiliser l'énergie produite par le rayonnement direct du soleil pour développer la force avec un moteur thermique et un moyen d'emmagasiner l'excès de puissance développée pendant les périodes d'insolation, pour l'utiliser plus tard,

pendant les périodes où le soleil ne se montre pas. Il faut, bien entendu, que ce problème soit résolu dans des conditions qui permettent de fournir de la force motrice à l'industrie d'une manière pratique et suffisamment économique.

Nous ne saurions manquer de rappeler ici que la question des moteurs solaires est loin d'être nouvelle pour notre Société devant laquelle elle a été traitée, notamment, en 1870, dans la séance du 22 avril, au sujet des travaux de Mouchot, antérieurs croyons-nous, à ceux d'Ericsson. Notre collègue, M. Leygue, en rendant compte de ses travaux, indiquait qu'on pouvait espérer obtenir pratiquement 1 cheval de 12 m² de surface exposée aux rayons du soleil, chiffre presque identique à celui donné plus haut de 1 cheval pour 10 m². Nous renvoyons, pour les détails, au procès-verbal de cette séance.

Installations électriques combinées pour éclairage et traction d'Alstætten-Schonthal (Suisse). — Ces installations sont alimentées par deux usines : une usine hydraulique située à Weidest et une usine à vapeur située à Schonthal.

L'usine de Weidest utilise la chute d'un petit cours d'eau, presque un ruisseau, le Bredenbach, et celle d'un autre d'égale importance, l'Ebernackquelle. Les eaux du premier sont recueillies dans un réservoir d'une capacité de 900 à 1 000 m³ et dirigées aux turbines de l'usine par une conduite de 0,25 m de diamètre et de 1 650 m environ de longueur. La hauteur de chute utilisable est de 147,60 m avec un débit moyen de 55 litres par seconde et une pression de 16,682 kg : cm². Les eaux de la seconde rivière sont recueillies à 450 m de la station dans un réservoir d'environ 230 m³ et dirigées à l'usine par une conduite de 0,30 m de diamètre La hauteur de chute pour cette source est de 96 m et le débit de 70 litres par seconde.

L'usine hydraulique est installée dans une ancienne maison d'habitation dont le rez-de-chaussée est occupé par la machinerie et les étages supérieurs par le personnel.

Son équipement se compose de deux groupes, l'un, pour les eaux de l'Ebernackquelle, formé d'une turbine à axe horizontal et réglage automatique accouplé à un alternateur de 100 chevaux ; l'autre, pour les eaux du Bredenbach, constitué par une turbine à haute pression d'une puissance de 70 chevaux entraînant une génératrice de courant continu.

L'alternateur, construit par l'usine d'Oerlikon, appartient au type à inducteur tournant. Il engendre du courant alternatif simple à 2 100 volts et 50 cycles qui est utilisé pour l'éclairage à 120 volts par les circuits secondaires d'un système à trois fils.

La génératrice de courants continus est une machine quadrapolaire compound alimentant la ligne de tramways sous la tension de 600 volts.

L'usine de Schonthal, située à environ 2 km de la précédente, contient deux machines du type Locomobile d'une puissance individuelle de 50 chevaux à 120 t : m entraînant par doubles courroies avec arbre intermédiaire l'une une dynamo à courant continu, l'autre, un alternateur du même type que celui de l'usine hydraulique avec lequel il peut être couplé en parallèle. Une batterie d'accumulateurs de 300 élé-

ments complète l'installation ; cette batterie fonctionne avec la ligne de tramways ; sa capacité est de 60 ampères-heure pour une décharge de une heure, mais elle peut soutenir 120 ampères pendant 10 minutes et même 180 pendant quelques secondes.

Cette usine ne fonctionne pas d'une façon continue, elle n'est mise en service que les jours de marchés dans les pays desservis par le tramway et aussi quand, par la suite de la baisse des eaux, la puissance fournie par l'usine hydraulique n'est plus suffisante. Au besoin même, on peut utiliser son matériel électrique, sans allumer les chaudières, pour transformer le courant alternatif de l'usine hydraulique en courant continu.

Ainsi son alternateur peut être actionné en moteur par celui de l'usine d'Alstaetten pour entraîner la génératrice à courant continu ; pour le démarrage du groupe transformateur ainsi constitué, on lance le courant des accumulateurs dans la dynamo à courant continu, celle-ci entraîne l'alternateur et quand les deux alternateurs sont amenés au synchronisme on les connecte.

La ligne de tramway est à voie unique et va d'Alstaetten à l'hôtel de Berneck distant de 11,6 km. La prise de courant s'effectue par fil aérien et trôlet. Le service est assuré par 7 voitures motrices pouvant contenir chacune 30 voyageurs. Six de ces voitures sont pourvues chacune d'un moteur de 18 chevaux, la septième en a deux de cette puissance et remorque le fourgon des postes.

Suivant les saisons, le nombre de voyages effectués par voiture est de 16 à 21 entre 6 heures du matin et 9 heures du soir. Le parcours entier est divisé en huit sections ; le prix des places est de 0,15 fr pour la première section et 0,05 fr par chaque section additionnelle.

Le prix de la ligne y compris son équipement revient à 46 000 fr par kilomètre. Le coût total de l'installation y compris les usines s'est élevé à 550 000 fr.

Pendant le cours de l'année 1900, les voitures ont transporté 464 651 voyageurs ce qui a laissé un bénéfice net de 16 446 fr à l'exploitation.

A Alstaetten, le courant alternatif simple à 2 100 volts est transformé et réparti par un réseau aérien à environ 1 200 lampes. Le prix du kilowatt-heure varie entre 34 et 40 centimes) L. D.

Statistique des moteurs électriques alimentés par deux réseaux urbains des États-Unis. — Dans une publication récente, M. Alton D. Adams fait ressortir les avantages qui résultent aussi bien pour les exploitants que pour les consommateurs du développement des moteurs électriques branchés sur les réseaux urbains d'éclairage, développement qui assure aux usines un débit important pendant le jour, et diminue ainsi l'importance des frais généraux par unité d'énergie produite.

A titre d'exemple de l'importance qu'a pris l'emploi des moteurs dans quelques réseaux urbains, il cite la ville de Boston et un réseau de l'état du Massachusetts. Les tableaux I et II donnent les nombres et puissances des moteurs branchés sur circuits de lampes à arc (colonne A), sur circuits d'éclairage à incandescence (col. B) et sur circuits spéciaux (col. C) en entendant par là des circuits à 440, 500 et 550 volts.

Il résulte de ces chiffres que depuis 1889 la proportion pour cent des moteurs alimentés par circuits spéciaux s'est élevée jusqu'au milieu de 1898, époque à laquelle elle atteignait 44,6 p. 100. Elle est tombée depuis cette date à 36,6 p. 100 du total en 1899 pour s'élever de nouveau à 40,7 p. 100 l'année suivante.

La proportion des moteurs alimentés par des usines d'éclairage est beaucoup plus faible, elle s'est élevée de 2 p. 100 en 1897, à 4 p. 100 en 1900. Ce qui

Tableau I. — *Réseau de Boston*

ANNÉE	A	B	C	PUISSANCE en chvx.
1887	31	80	»	299
1888	40	104	»	405
1889	90	239	»	704
1890	81	417	»	1 326
1891	83	684	»	2 304
1892	91	960	49	3 373
1893	»	»	»	3 831
1894	45	1 565	105	5 233
1895	38	1 732	334	6 046
1896	28	1 591	780	7 092
1897	8	1 734	831	8 974
1898	6	1 946	1 151	10 261
1899	5	2 701	901	12 330
1900	5	2 467	1 042	14 959

Tableau II. — *Réseau du Massachusetts.*

ANNÉE	A	B	C	PUISSANCE en chvx.
1887	31	145	»	422
1888	43	193	»	614
1889	111	379	48	1 422
1890	100	579	128	2 723
1891	173	851	195	5 250
1892	104	1 294	376	5 485
1893	»	»	530	6 848
1894	142	2 031	591	8 944
1895	69	2 365	1 067	10 924
1896	54	2 293	1 688	13 930
1897	29	2 595	1 928	16 318
1898	10	2 775	2 235	18 930
1899	6	3 742	2 171	22 740
1900	11	3 735	2 572	27 123

est surtout remarquable c'est l'augmentation du nombre et de la puissance des moteurs électriques.

TRACTION

Tramway électrique Gênes-Granarolo. — *Le Genie Civil* de février annonce la récente inauguration de ce tramway à crémaillère, le premier de ce type installé en Italie.

Granarolo est un des faubourgs élevés de Gênes. La ligne a une projection horizontale de 1 135 m ; la différence d'altitude des deux gares extrêmes est de 195,50 m ; les rampes varient de 10 à 20,15 p. 100. La voie unique, avec évitement au milieu du parcours, est constituée par des rails en acier type Vignole de 21 kg par m ; la crémaillère, placée suivant l'axe de la voie, est du système Riggenbach. Les voitures, à deux essieux écartés de 1,72 m, sont munies sur chaque essieu d'un moteur de 35 chevaux ; elles sont pourvues de deux freins mécaniques, mais à la descente le freinage s'obtient en faisant fonctionner les moteurs comme générateurs. La montée est effectuée en 14 minutes, soit avec une vitesse moyenne de 5 km : h ; à la descente, la vitesse ne dépasse pas 8 km : h.

Les tramways électriques de Brighton (Angleterre). — C'est dans cette ville que fut expérimentée, en 1883, la première ligne de tramway électrique avec un troisième rail de M. Magnus Volk. Mais ce n'est que tout récemment que la ville a été dotée d'un système pratique de traction électrique que décrit *The Electrician* du 6 décembre, t. XLVIII, p. 254.

Le premier tronçon du nouveau réseau a été ouvert à l'exploitation le 25 novembre dernier. Les 6 artères qui composent ce réseau desservent autant de points différents de la ville. La distribution du courant se fait par fil aérien supporté par des pylones d'un aspect des plus décoratifs.

Les voitures sont à impériale découverte avec support de la perche au centre; elles sont montées sur des trucks simples du type Peckham avec moteurs électriques de la Bristish Westinghouse du modèle 49 B.

Le hangar de remise des voitures, situé sur la ligne de Lewes Road, renferme les ateliers de visite et de réparation du matériel. Les bureaux de la compagnie sont également situés en cet endroit.

Une partie du courant sera fournie aux voitures par l'usine d'éclairage électrique de la ville et le reste par les génératrices d'une usine provisoire dont l'équipement comprend trois groupes générateurs : un de 325 et deux de 175 kilowatts et un survolteur pour le courant de retour.

L. D.

Tramways interurbains de Indianopolis-Anderson-Marion-Elwood-Muncie (États-Unis). — Le *Street Railway* de décembre donne (t. III, p. 545-442) de ces tramways une description illustrée, à laquelle nous empruntons les renseignements suivants :

La ligne principale s'étend d'Indianopolis (169 164 habitants) à Marion, situé à 112 km de distance, en passant par Anderson, Alexandria et Fairmount ; un

embranchement de 27 km se détache à Anderson pour aller à Muncie; un autre de 17 km relie Elwood à Alexandria. La population desservie par ces lignes est d'environ 175 000 habitants, non compris Indianopolis. Elles sont exploitées par la Union Traction Company of Indiana, qui exploite également 92 km de tramways urbains dans les diverses villes de la ligne interurbaine.

Celle-ci emprunte les voies des réseaux urbains pour la traversée des villes desservies; entre les villes la ligne, à voie unique, est établie pour la plus grande partie à travers champs. Le long de la voie sont tendus des fils téléphoniques servant à signaler la marche des trains. A tous les évitements sont disposés des commutateurs permettant aux conducteurs des voitures de se connecter aux fils téléphoniques sans quitter leurs voitures; ils peuvent ainsi s'assurer si la voie est libre jusqu'au prochain évitement, en cas d'accident ils peuvent encore se connecter très facilement aux lignes téléphoniques par des boîtes de connexion fixées à une faible hauteur sur les supports des lignes et espacées d'environ 700 m.

La vitesse atteinte en cours de route est très considérable; elle atteint parfois 100 km : h. A cause de la fréquence relativement grande des arrêts la vitesse commerciale est sensiblement la même que celle des chemins de fer à vapeur de la région. Ainsi pour aller de Indianopolis à Muncie, soit pour parcourir 85 km, il faut 2 h. 15 m; un service express ne demande même que 2 heures. Or les trains omnibus du Big Four Railroad dont les voies sont parallèles à celle du tramway mettent 1 h 50 m, et les express 1 h 13; mais il faut encore environ 25 minutes de tramway pour se rendre du centre à Indianopolis à la gare du chemin de fer à vapeur, le temps dépensé est à peu près le même dans les deux cas.

Les voitures pèsent 32 tonnes et ont 16 m de longueur; elles reposent sur deux bogies dont un seul, celui d'avant, est moteur, chacun de ses essieux étant actionné par un moteur Westinghouse de 150 chevaux. L'intensité du courant à pleine vitesse en palier est d'environ 150 ampères; aux démarrages elle atteint 300 à 350 ampères. Par suite de cette grande intensité et de la grande vitesse, les roulettes de trôlet s'usent très rapidement.

L'usine génératrice est située à Anderson, à peu près au milieu de la ligne. Elle présente cette particularité que les chaudières sont chauffées avec du gaz naturel. Elle renferme trois groupes électrogènes fournissant des courants triphasés dont la tension est élevée à 15 000 volts par transformateur pour la transmission de l'énergie à 8 sous-stations (dont une est située dans l'usine génératrice). Trois de ces sous-stations contiennent des convertisseurs rotatifs de 250 kilowatts, un survolteur à enroulement différentiel de 16 kilowatts et une batterie de 264 éléments de 168 hw-h; les cinq autres ne renferment qu'un seul convertisseur rotatif, un survolteur de 8 kilowatts et une batterie 83 kw-h. A signaler encore une particularité de l'installation : une sous-station mobile constituée par une voiture automotrice contenant un convertisseur rotatif de 250 kilowatts et que l'on peut envoyer en cas de besoin dans l'une quelconque des sous-stations fixes où le matériel de réserve est ainsi rendu inutile.

Le prix moyen du kilowatt-heure compté au tableau de distribution de l'usine génératrice a été de 0,02255 fr pour les 6 mois d'avril à octobre 1901; le prix moyen du kilowatt-heure aux barres des tableaux

des sous-stations ressort à 0,03835 fr. Le détail des dépenses par kilowatts-heure est donné ci-contre pour le mois de juillet, mois pendant lequel l'énergie transmise a été de 953 000 kw-h et l'énergie fournie par les sous-stations de 756 650 kw-h ; c'est aussi le mois où les dépenses ont été les plus faibles.

PAR KILOWATT-HEURE

	A l'usine génératrice	Aux sous-stations
Combustible. . . .	0,00895 fr	0,01135 fr
Main-d'œuvre . . .	0,00580	0,01320
Graissage et divers.	0,00195	0,00245
Réparations	0,00250	0,00650
Totaux . . .	0,01920 fr	0,03350 fr

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Les appareils de levage et de manutention, par **M.-R. Masse.** Un vol. in-8, 108 pages, 136 figures, formant la 8e livraison (9e dans l'ordre d'apparition) de la Mécanique a l'Exposition. *Veuve Ch. Dunod*, 49, quai des Grands-Augustins, éditeur. Prix de la collection complète, qui comprendra environ 20 livraisons, 60 fr.

Cette livraison s'adresse particulièrement aux électriciens, la plupart des appareils qui y sont décrits étant à commande électrique.

Parmi ces appareils signalons : la grue électrique Mohr et Federhaff, la grue titan Leblanc, la grue de Mocomble, les grues automobiles ; les ponts roulants Carl Flohr, d'Oerlikon, Ganz et Cie ; la plate-forme mobile de Mocomble ; les tapis élévateurs Halle, Le Blanc, Cance et Grandemange, etc.

Ajoutons que l'auteur a su obtenir des constructeurs des renseignements très détaillés et que malgré l'aridité du sujet il est parvenu à faire un ouvrage fort intéressant.

Les applications pratiques des ondes électriques : Télégraphie sans fil, télégraphie avec conducteur, éclairage, commande à distance, par **A. Turpain.** Un vol. in-8, 400 pages. *C. Naud*, éditeur, 3, rue Racine, Paris, 1902.

Ce volume fait partie de la « Bibliothèque Technologique » qui compte déjà plusieurs ouvrages fort appréciés. Par suite de l'importance qu'ont prise dans ces dernières années les ondes électriques, en raison de leur application à la télégraphie avec ou sans conducteur, un livre sur ce sujet avait sa place indiquée dans cette collection.

En en confiant la rédaction à M. Turpain, dont les remarquables travaux sur les ondes électriques et sur la télégraphie sont bien connus des lecteurs de *L'Éclairage Électrique*, l'éditeur a été bien inspiré. M. Turpain a

donné un tableau complet et fidèle de la question telle qu'elle se présente actuellement.

L'auteur étudie d'abord les différents modes de production des ondes électriques et les appareils employés : bobines d'induction ou transformateurs, interrupteurs, machines électriques, etc. Puis, après avoir rappelé sommairement le principe des appareils télégraphiques, il expose les divers essais de télégraphie sans conducteur et de transmission multiple par conducteur, au moyen des ondes, les modes de production des courants de haute fréquence et les tentatives d'application à l'éclairage. Enfin le livre se termine par un appendice où sont exposées les théories proposées pour expliquer le fonctionnement du cohéreur, le rôle des antennes et où sont analysés nombre de brevets récents.

M. L.

Conférence sur la Machine-outil moderne, par **G. Richard**, ingénieur civil des Mines. Un vol. in-4° de 72 pages, avec 114 figures. *Veuve Ch. Dunod*, éditeur, 49, quai des Grands-Augustins. Prix, broché, 4 fr.

Dans cette conférence, faite le 27 juillet 1900 au Congrès de Mécanique appliquée, M. G. Richard décrit les machines-outils les plus modernes, principalement les machines américaines, les constructeurs des Etats-Unis étant, comme on sait, passés maîtres en la matière, grâce à leur puissant outillage et à l'énorme débouché dont ils disposent.

M. Richard examine successivement les tours, les alésoirs, les machines à vis, les fraiseuses, perceuses, raboteuses, mortaiseuses, les meules et enfin diverses machines-outils électriques.

La documentation véritablement extraordinaire de l'auteur sur tous les sujets de Mécanique, documentation dont les lecteurs de ce journal ont pu juger par les articles sur les Applications mécaniques de l'électricité que M. Richard publie depuis de nombreuses années dans *La Lumière Electrique* et *L'Eclairage Electrique*, lui a permis de rendre ses conférences des plus instructives et des plus intéressantes. Cette double qualité, ainsi d'ailleurs que la nécessité, aujourd'hui reconnue des industriels, d'utiliser dans les ateliers de constructions l'outillage le plus perfectionné, constituaient des motifs suffisants pour publier cette conférence en dehors des travaux du Congrès de Mécanique appliquée et sans aucun doute l'éditeur n'aura pas à se repentir de cette décision.

J. B.

Elektromotoren und electrische Arbeits übertragung (Moteurs électriques et applications mécaniques de l'électricité) par **F. Niethammer** et **E. Schulz**. Un vol. in-8 de 416 pages. *S. Hirzel*, éditeur, Leipzig. Prix, relié, 18 marks.

Cet ouvrage forme le 9e volume du Traité d'Electrotechnique rédigé par une pléiade d'ingénieurs et de professeurs, sous la direction du Dr C. Heinke, professeur d'Electrotechnie à la haute Ecole technique de Munich. Il est divisé en deux parties respectivement écrites par M. Niethammer et par M. Schulz.

Dans la première partie, M. Niethammer étudie successivement les moteurs à courant continu, les moteurs à courants alternatifs et enfin les moteurs thermomagnétiques auxquels il consacre quelques pages. Pour les moteurs à courants continus il donne, après quelques généralités sur le sujet, une théorie fort complète de ces appareils ; puis il examine les conditions de démarrage et de freinage ; enfin il décrit les principaux modes d'enroulements et les types de moteurs des constructeurs allemands, suisses et hongrois les plus importants. Les moteurs à courants alternatifs sont divisés en moteurs synchrones et moteurs d'induction, ceux-ci étant à leur tour subdivisés en moteurs polyphasés et moteurs monophasés.

La seconde partie, due à M. Schulz, est consacrée plus spécialement aux applications des moteurs ; il s'y trouve forcément quelques paragraphes qui font double emploi avec les considérations développées par M. Niethammer dans la première partie et à ce point de vue il eût été préférable que les deux auteurs fondissent ensemble leurs travaux. Comme applications, M. Schulz y décrit plusieurs installations de transmission électrique à grande distance de force motrice et quelques appareils à commande électrique tels que ventilateurs, pompes, etc.

Tome XXX Samedi 11 Janvier 1902. 9e Année. — N° 2

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Prix proposés par l'Académie des Sciences. — Parmi ces prix nous signalons les suivants :

Prix Francœur. — Ce prix annuel, de 1 000 fr, sera décerné à l'auteur de découvertes ou de travaux utiles au progrès des Sciences mathématiques pures et appliquées.

Prix Poncelet. — Ce prix annuel, d'une valeur de 2 000 fr, est destiné à récompenser l'Ouvrage le plus utile aux progrès des Sciences mathématiques pures ou appliquées, publié dans le cours des dix années qui auront précédé le jugement de l'Académie.

Prix Montyon (*Mécanique*). — Ce prix annuel, d'une valeur de 700 fr, est fondé en faveur de celui qui, au jugement de l'Académie des Sciences, s'en sera rendu le plus digne, en inventant ou en perfectionnant des instruments utiles aux progrès de l'Agriculture, des Arts mécaniques ou des Sciences.

Prix Plumey. — Ce prix, de 2 500 fr, est destiné à récompenser « l'auteur du perfectionnement des machines à vapeur ou de toute autre invention qui aura le plus contribué au progrès de la navigation à vapeur ». Il sera décerné au travail le plus important qui sera soumis à l'Académie sur ces matières.

Prix Fourneyron. — Une somme de 500 fr de rente sur l'État français a été léguée à l'Académie pour la fondation d'un prix de *Mécanique appliquée*, à décerner *tous les deux ans*, le fondateur laissant à l'Académie le soin d'en rédiger le programme.

L'Académie met de nouveau au concours pour sujet du prix Fourneyron, qu'elle décernera, s'il y a lieu, dans sa séance publique de 1903, la question suivante :

Etude théorique ou expérimentale des turbines à vapeur.

Les pièces de concours, manuscrites ou imprimées, devront être déposées au Secrétariat de l'Institut avant le 1er juin 1903.

Prix Hébert. — Ce prix annuel, d'une valeur de 1 000 fr, est destiné à récompenser l'auteur du meilleur Traité ou de la plus utile découverte pour la vulgarisation et l'emploi pratique de l'Electricité.

Prix L. La Caze. — M. Louis La Caze a légué à l'Académie des Sciences trois rentes de 5 000 fr chacune.

L'Académie décernera, dans sa séance publique de l'année 1903, trois prix de 10 000 fr. chacun aux Ouvrages ou Mémoires qui auront le plus contribué aux progrès de la *Physiologie*, de la *Physique* et de la *Chimie*.

Prix Gaston Planté. — Ce prix biennal sera attribué, d'après le jugement de l'Académie, à l'auteur français d'une découverte, d'une invention ou d'un travail important dans le domaine de l'Electricité.

L'Académie décernera, s'il y a lieu, le prix Gaston Planté dans sa séance annuelle de 1903.

Le prix est de 3 000 fr.

Prix Hughes. — Ce prix annuel, d'une valeur de 2 500 fr, est destiné à récompenser une découverte originale dans les Sciences physiques. Il sera décerné pour la première fois en 1903.

Prix Kastner-Boursault. — Ce prix triennal, d'une valeur de 2 000 fr, sera décerné, s'il y a lieu, en 1904, à l'auteur du meilleur travail sur les applications diverses de l'Electricité dans les Arts, l'Industrie et le Commerce.

Médaille Arago. — L'Académie, dans sa séance du 14 novembre 1887, a décidé la fondation d'une médaille d'or à l'effigie d'Arago.

Cette médaille sera décernée par l'Académie chaque fois qu'une découverte, un travail ou un service rendu à la Science lui paraîtront dignes de ce témoignage de haute estime.

Médaille Lavoisier. — L'Académie, dans sa séance du 26 novembre 1900, a décidé la fondation d'une médaille d'or à l'effigie de Lavoisier.

Cette médaille sera décernée par l'Académie, aux époques que son Bureau jugera opportunes, aux savants qui auront rendu à la Chimie des services éminents, sans distinction de nationalité.

Prix Wilde. — M. Henry Wilde a fait donation à l'Académie des Sciences d'une somme de 137.500 fr., qui

a été convertie en rente 3 p. 100 sur l'État français. Les arrérages de ladite rente sont consacrés à la fondation à perpétuité d'un prix annuel de 4.000 fr., qui porte le nom de *Prix Wilde*.

Ce prix est décerné chaque année par l'Académie des Sciences, sans distinction de nationalité, à la personne dont la découverte ou l'ouvrage sur l'*Astronomie*, la *Physique*, la *Chimie*, la *Minéralogie*, la *Géologie* ou la *Mécanique expérimentale* aura été jugé par l'Académie le plus digne de récompense, soit que cette découverte ou cet ouvrage ait été fait dans l'année même, soit qu'il remonte à une autre année antérieure ou postérieure à la donation.

Prix Delalande-Guérineau. — Ce prix biennal, d'une valeur de 1,000 fr., sera décerné en 1902 « au voyageur « français ou au savant qui, l'un ou l'autre, aura rendu « le plus de services à la France ou à la Science ».

Prix Jérome Ponti. — Ce prix biennal, de la valeur de 3.500 fr., sera accordé à l'auteur d'un travail scientifique dont la continuation ou le développement seront jugés importants pour la Science.

L'Académie décernera ce prix, s'il y a lieu, dans sa séance publique de 1902.

Prix Houllevigue. — M. Stanislas Houllevigue a légué à l'Institut 5.000 fr. de rentes 3 p. 100, à l'effet de fonder un prix annuel qui portera son nom et sera décerné à tour de rôle par l'Académie des Sciences et par l'Académie des Beaux-Arts.

L'Académie des Sciences décernera le prix Houllevigue dans la séance publique annuelle de 1902.

Prix Cahours. — M. Auguste Cahours a légué à l'Académie des Sciences la somme de 100.000 fr.

Conformément aux vœux du testateur, les intérêts de cette somme seront distribués chaque année, à titre d'encouragement, à des jeunes gens qui se seront déjà fait connaître par quelques travaux intéressants et plus particulièrement par des recherches sur la Chimie.

Le prix est de 3.000 fr.

Prix Saintour. — L'Académie décernera ce prix, de la valeur de 3.000 fr., dans sa séance annuelle de 1902.

Prix Trémont. — Ce prix, d'une valeur annuelle de 1.100 fr., est destiné « à aider dans ses travaux tout savant, ingénieur, artiste ou mécanicien, auquel une assistance sera nécessaire pour atteindre un but utile et glorieux pour la France ».

L'Académie, dans sa séance publique annuelle, accordera la somme provenant du legs Trémont, à titre d'encouragement, à tout savant, ingénieur, artiste ou mécanicien qui, se trouvant dans les conditions indiquées, aura présenté, dans le courant de l'année, une découverte ou un perfectionnement paraissant répondre le mieux aux intentions du fondateur.

Prix Gegner. — Ce prix annuel, d'une valeur de 3.800 fr., est destiné « à soutenir un savant qui se sera signalé par des travaux sérieux, et qui dès lors pourra continuer plus fructueusement ses recherches en faveur des progrès des Sciences positives ».

Prix Petit d'Ormoy. — L'Académie a décidé que, sur les fonds produits par le legs Petit d Ormoy, elle décernera tous les deux ans un prix de 10.000 fr. pour les Sciences mathématiques pures ou appliquées, et un prix de 10.000 fr. pour les Sciences naturelles.

Les reliquats disponibles de la fondation pourront être employés par l'Académie en prix ou récompenses, suivant les décisions qui seront prises à ce sujet.

L'Académie décernera les prix Petit d'Ormoy, s'il y a lieu, dans sa séance publique annuelle de 1903.

Prix Boileau. — Ce prix triennal, d'une valeur de 1.300 fr., est destiné à récompenser les recherches sur les mouvements des fluides, jugées suffisantes pour contribuer au progrès de l'Hydraulique.

A défaut, la rente triennale échue sera donnée, à titre d'encouragement, à un savant estimé de l'Académie et choisi parmi ceux qui sont notoirement sans fortune.

L'Académie décernera le prix Boileau dans sa séance annuelle de 1903.

Prix Estrade-Delcros. — M. Estrade-Delcros, par son testament en date du 8 février 1876, a légué toute sa fortune à l'Institut. Le montant de ce legs devra être partagé, par portions égales, entre les cinq classes de l'Institut, pour servir à décerner, tous les cinq ans, un prix sur *le sujet que choisira chaque Académie*.

Ce prix, de la valeur de 8 000 fr, sera décerné par l'Académie des Sciences, dans sa séance publique de 1903.

Ce prix ne peut être partagé.

Prix Binoux. — Ce prix alternatif sera décerné,

en 1903, à l'auteur des travaux sur l'*Histoire des Sciences*.

Le prix est de 3 000 fr.

Prix Leconte. — Ce prix, d'une valeur de 50 000 fr, doit être donné, *en un seul prix, tous les trois ans, sans préférence de nationalité :*

1° Aux auteurs de découvertes nouvelles et capitales en Mathématiques, Physique, Chimie, Histoire naturelle, Sciences médicales ;

2° Aux auteurs d'applications nouvelles de ces sciences, applications qui devront donner des résultats de beaucoup supérieurs à ceux obtenus jusque-là.

L'Académie décernera le prix Leconte, s'il y a lieu, dans sa séance annuelle de 1904.

Prix Alhumbert. — Ce prix quinquennal, d'une valeur de 1 000 fr, est destiné à récompenser les Mémoires sur des questions particulières propres à compléter l'ensemble de nos connaissances.

Le prix sera décerné, s'il y a lieu, dans la séance annuelle de 1905.

Prix Jean Reynaud. — Mme veuve Jean Reynaud, « voulant honorer la mémoire de son mari et perpétuer son zèle pour tout ce qui touche aux gloires de la France », a fait donation à l'Institut de France d'une rente sur l'Etat français, de la somme de 10 000 fr, destinée à fonder un prix annuel qui sera successivement décerné par les cinq Académies « au travail le plus méritant, relevant de chaque classe de l'Institut, qui se sera produit pendant une période de cinq ans ».

« Le prix J. Reynaud, dit la fondatrice, ira toujours à une œuvre originale, élevée et ayant un caractère d'invention et de nouveauté.

« Les Membres de l'Institut ne seront pas écartés du concours.

« Le prix sera toujours décerné intégralement : dans le cas où aucun Ouvrage ne semblerait digne de le mériter entièrement, sa valeur sera délivrée à quelque grande infortune scientifique, littéraire ou artistique. »

L'Académie des Sciences décernera le prix Jean Reynaud dans sa séance publique de 1906.

Prix Baron Joest. — Ce prix, décerné successivement par les cinq Académies, sera attribué à celui qui, dans l'année, aura fait la découverte ou écrit l'Ouvrage le plus utile au bien public.

Ce prix, de la valeur de 2 000 fr, sera décerné par l'Académie des Sciences dans sa séance publique de 1906.

Les prix Nobel. — Pour la première fois a eu lieu à Stockholm, le 10 décembre dernier, la distribution des cinq prix Nobel, d'une valeur d'environ 200 000 fr chacun.

Le prix de Physique a été décerné à M Rœntgen, pour sa découverte des rayons X ; le prix de Chimie au hollandais Van t'Hoff, pour ses études sur la Chimie physique.

Syndicat professionnel des Industries électriques (*Séance du 10 décembre 1901*). — La séance est ouverte à 5 heures sous la présidence de M. Mildé.

Etaient présents : MM. Azaria, Bénard, Berne, Boistel, Chaussenot, Eschwege, Geoffroy, Journet, Laffargue, Larnaude, De Loménie, Meyer-May, Mildé, Portevin, Radiguet, Ribourt, E. Sartiaux, De Tavernier et Violet.

Sont excusés : MM. Bancelin, Clémançon, Vedovelli et Zetter.

Admissions. — Sont admis comme membres du Syndicat : M. Parvillée (Louis), Administrateur délégué de la Société des anciens établissements Parvillée et Cie, 29, rue Gauthey, à Paris (XVIIe), présenté par MM. Mildé et Harlé ;

M. Teisset (Jules), de la maison Teisset, veuve Brault et Chapron, constructeurs-mécaniciens, 17, rue Gaillon, à Paris (IIe), présenté par MM. Portevin et Violet.

Projet de Tarif douanier allemand. — M. le Président rend compte que la Commission des douanes a examiné le projet de tarif douanier allemand pour ce qui intéresse l'industrie électrique, et dont elle a été saisie par l'Office national du Commerce extérieur. M. le Président donne ensuite lecture du Rapport préparé par M. Chaussenot sur cette question.

La Chambre décide de publier ce rapport dans le bulletin et d'en envoyer une copie à M. le Président du Comité de direction de l'office national du Commerce extérieur, en réponse à sa communication du mois de septembre.

Commissions permanentes. — M. le Président donne connaissance de la répartition des cinq commissions permanentes, avec les noms des membres adhérents du Syndicat qui se sont faits inscrire dans chacune d'elles. Sur la proposition de MM. Boistel, De Loménie et de divers membres présents, la Chambre décide de désigner ces Commissions ainsi que suit :

1re Commission. — Constructions.

2e Commission. — Installations, distributions, utilisation de l'énergie. — Éclairage.

3e Commission. — Canalisations, fils et câbles.

4e Commission. — Téléphonie, télégraphie, appareillage, appareils de mesures, applications diverses.

5e Commission. — Questions administratives et économiques.

Sur la proposition de M. Chaussenot, la Chambre décide que les réunions de ces Commissions auront lieu à dates fixes arrêtées par le Bureau et publiées dans le Bulletin.

Fixation de la réunion de l'Assemblée générale. — La Chambre décide de renvoyer cette question à l'examen de la séance du mois de janvier.

Affaires diverses. — 1° M. le Président donne communication de la lettre ci-après de M. le Sous-Secrétaire d'Etat des Postes et des Télégraphes, en date du 4 décembre.

« Comme suite à notre entretien du 11 octobre dernier, j'ai l'honneur de vous transmettre les renseignements complémentaires ci-après au sujet des questions sur lesquelles vous avez bien voulu attirer mon attention. Vous m'avez fait observer, en ce qui concerne les adjudications d'appareils téléphoniques, que l'exiguité des délais de livraison mentionnés aux cahiers des charges équivalait pour les petits constructeurs, à une interdiction de prendre part à ces adjudications. Afin de donner satisfaction sur ce point à tous les intéressés, il sera tenu compte, dans la mesure du possible, du désir que vous avez exprimé de voir augmenter ces délais.

» Vous avez bien voulu me demander d'autre part, quel était l'intérêt qui s'attachait à l'adoption d'un type unique. Or, en principe, les efforts constants de mon Administration ont toujours eu pour but l'unification du matériel ; en particulier, si on considère que la pose et l'entretien des appareils téléphoniques d'abonnés sont effectués par les soins du personnel ouvrier de l'Administration, l'adoption d'un type unique de transmetteurs et de récepteurs s'imposait. C'était le seul moyen de réduire les dépenses et d'arriver à diminuer le prix des abonnements. Ce type unique, dont le modèle a été constitué par les soins de l'Administration, sert de base aux adjudications, et tous les industriels qui s'occupent de la fabrication d'appareils téléphoniques ont la faculté de prendre part à ces fournitures, car il est remis à chacun des adjudicataires, en vue de l'exécution de ces fournitures, un spécimen de l'appareil en même temps que les dessins cotés des divers organes qui le constituent.

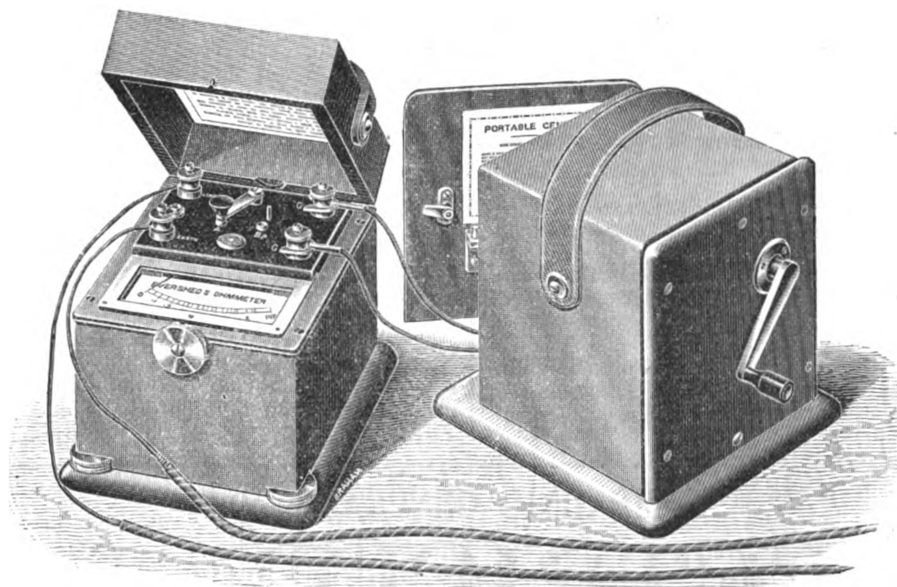
» Enfin, en ce qui concerne l'éventualité d'une dérogation aux dispositions du décret du 7 mai 1901, tendant à laisser aux abonnés des réseaux à conversations taxées le libre choix entre la fourniture gratuite des appareils par l'Etat, ou l'acquisition de ces appareils à leurs frais, moyennant la réduction du taux des abonnements, la question, qui est très complexe, a été mise à l'étude. Dès qu'une solution sur ce dernier point sera intervenue, je m'empresserai d'ailleurs de vous en aviser.

» Agréez, etc. »

NÉCESSAIRE PORTATIF

POUR ESSAIS D'ISOLEMENT

Système EVERSHED



Ohmmètre et magnéto constituant le nécessaire portatif d'essai de résistance d'isolement.

L'appareil complet pèse 8 kilogrammes seulement, le générateur seul pèse moins de 6 kilogrammes et est manœuvré à la main et peut donner une tension de 100, 200 ou 500 volts.

EVERSHED & VIGNOLES, Constructeurs.

SEULS REPRÉSENTANTS POUR LA FRANCE :

E.-H. CADIOT & CIE

12, rue Saint-Georges, Paris.

Envoi sur demande du dernier Prix-Courant.

La Chambre charge son bureau de poursuivre la solution de cette question auprès de M. le Sous-Secrétaire d'Etat.

2° M. le Président donne lecture d'une lettre de l'Association Amicale des Ingénieurs Electriciens relative à la création d'un Office central de renseignements techniques étrangers ou autres. La Chambre décide de publier cette lettre dans le bulletin.

3° M. le Président communique une lettre de M. Colin, de l'institut de Thérapie.

Une invitation du Comité Central des Chambres Syndicales pour la distribution de médailles d'honneur aux ouvriers et employés comptant plus de trente années de services.

4° M. E Sartiaux rend compte de l'état de la souscription et des négociations relatives à l'érection du monument Gramme.

5° M. le Président donne lecture d'une lettre qu'il a reçue du Ministère des Colonies relativement à l'Exposition qui aura lieu à Hanoï en 1902.

Les membres adhérents du Syndicat pourront prendre communication des documents que vise cette lettre, au siège social, 11, rue Saint-Lazare.

6° Sur la proposition de M. Ribourt, la Chambre décide de publier mensuellement dans son Bulletin la liste des ingénieurs, anciens élèves de l'Ecole Centrale et de l'Ecole supérieure d'Electricité, qui recherchent un emploi. Cette liste sera communiquée par l'Association Amicale des Anciens Elèves de l'Ecole Centrale.

7° M. le Président communique une lettre de M. Bénard proposant de créer une série de prix spéciale pour l'électricité d'accord avec les autres syndicats intéressés.

La Chambre renvoie cette question à l'examen de sa Commission compétente.

8° M. le Président fait connaître qu'une Exposition s'ouvrira à Lille (Nord) en 1902 et qu'elle comprendra un groupe relatif à l'industrie électrique.

Le programme et les conditions d'admission seront publiés dans le Bulletin.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

***Usine hydraulique et transmission d'énergie électrique de Chambly-Montréal** (**Canada**).* — L'usine hydraulique située à Chambly, utilise les eaux dérivant du lac Champlain par un canal naturel appelé la Richelieu River.

Une partie de son matériel générateur, en fonction depuis quatre ans et constituée par 4 alternateurs Stanley de 2 000 kilowatts en courants quadriphasés à 12 000 volts par phase, a été récemment complétée par l'addition de 4 autres alternateurs de la Canadian General Electric Company, d'une puissance individuelle de 2 200 kilowatts, produisant du courant de même nature que les précédents à la tension de 2 200 volts par phase avec 153 révolutions par minute. Notre confrère *The Electrical Review*, de New-York, à qui nous empruntons ces renseignements, ajoute que dès que ces 4 nouveaux alternateurs seront en fonction, les 4 anciens seront successivement arrêtés pour modifier leur enroulement, conformément aux nouveaux. Actuellement, il n'est pas employé à l'usine de transformateurs autres que ceux nécessaires à l'éclairage intérieur et à celui des villages avoisinants de Chambly et Chambly-Basin. Mais, dès que l'installation entière fonctionnera sous un régime uniforme, on mettra en service 10 grands transformateurs Westinghouse, d'une capacité de 2 750 kilowatts chacun. Ces appareils seront du type à refroidissement par ventilation; ils serviront à élever la tension à 25 000 volts et à transformer, suivant la méthode Scott, les courants quadriphasés

en courants triphasés, pour profiter du meilleur rendement de ces derniers courants pour la transmission.

Les excitatrices, mues chacune par une turbine, sont des machines à 6 pôles et d'une puissance de 140 kilowatts. Une grue électrique de la force de 40 tonnes complète l'équipement mécanique de l'usine.

La ligne de transmission de l'énergie constitue une des particularités intéressantes de l'installation. Elle est constituée par 12 câbles de cuivre nus n° 00 supportés par des poteaux en cèdre d'une hauteur moyenne de 9 m au-dessus du niveau du sol. Cette ligne est alternativement aérienne, souterraine et sous-fluviale sur sa longueur totale de 26 285,70 m dans les proportions suivantes :

Aérienne	1 620 m
Sous-fluviale	42
Aérienne	20 445,90
Souterraine	2 790
Aérienne	495
Souterraine	532,80
Sous-fluviale	85,50
Souterraine	304,50
Total	26 285,70

Les sections dénommées sous-fluviales se rapportent à celles traversant la Richelieu river et le Lachine canal. Elle coupe encore une seconde fois la même Richelieu river en ligne aérienne ; la double rangée de poteaux est érigée parallèlement sur 5 piles analogues à celles des ponts, mais de dimensions moindres.

Les isolateurs, éprouvés à 30 000 volts, sont fixés sur des barres transversales fixées en croix à la tête de chaque poteau. La ligne est protégée sur tout son parcours par des fils barbelés en fer galvanisé dont l'application, tant au point de vue de l'efficacité que de la protection contre les coups de foudre, a fourni d'excellents résultats. Ces fils sont aussi employés pour la mise à la terre, à chaque poteau, par l'intermédiaire de plaques de fer enfouies au pied de chacun d'eux.

Un ingénieux dispositif, installé à l'extérieur de l'usine génératrice, permet de lancer le courant d'une ligne sur une autre non chargée, pour faire les épreuves d'un alternateur par exemple ; il se compose de plaques métalliques de grandes dimensions, reliées aux conducteurs que l'on immerge, pour servir de rhéostat, dans les eaux du canal de fuite. Le seul inconvénient qu'on ait à reprocher à ce système, c'est de foudroyer une grande quantité de poissons à chaque fois qu'il est mis en usage.

A Montréal, point terminus de la ligne, le courant est transformé par une batterie de transformateurs Stanley en courants diphasés à 2 200 volts et réparti partiellement à cette tension sur le réseau de la ville. Le point caractéristique de cette sous-station consiste en l'alimentation directe par le courant de la ligne de moteurs synchrones actionnant alternativement des génératrices diverses pendant le jour et des machines pour l'éclairage public à arc pendant la nuit. Par ce moyen, et avec l'aide d'un moteur synchrone spécial de 750 kilowatts, la charge est maintenue normalement constante à 96 p. 100.

Le nombre d'appareils d'utilisation raccordé au réseau de Montréal comprend 125 000 lampes à incandescence de 16 bougies, 2 000 lampes à arc et plusieurs centaines de moteurs électriques, absorbant ensemble 6 000 chevaux en énergie électrique.

Une seconde sous-station, analogue à la première, est en cours d'érection pour répondre aux modifications actuelles de puissance génératrice.

Grâce à une nouvelle méthode préconçue et mise en vigueur pour la première fois à Montréal, les courbes du facteur de charge, relevées en différentes saisons de l'année, accusent des variations excessivement faibles de ce facteur. Ainsi, la charge moyenne reste toujours dans les limites de 85 à 94 p. 100 de la charge maxima. Ces résultats ont pu être obtenus d'un commun accord avec les industriels, gros consommateurs d'énergie, qui ont consenti à prolonger la durée du travail dans leurs usines pendant les jours d'été et la réduire pendant l'hiver, de façon à se mettre en accord avec les exigences de la charge nécessitée pour l'éclairage général. L'arrêt des moteurs industriels coïncide avec l'allumage des lampes et inversement, de sorte que le facteur de charge reste pratiquement constant jour et nuit. L. D.

Usine génératrice à vapeur de Trafford Park à Manchester (Angleterre). — Cette usine est caractérisée non seulement par le fait que son exploitation constitue une mise en pratique de l'idée d'alimenter un réseau peu éloigné par du courant continu, et un autre plus distant par des courants alternatifs triphasés, mais aussi par une application de l'emploi du gaz pour le chauffage des chaudières. *The Electrical Review*, de Londres, en donne dans ses numéros des 1er et 8 nov. (p. 715 et 759) une description illustrée très complète dont voici un résumé.

Les chaudières, au nombre de trois, sont actuellement chauffées au charbon, en attendant l'achèvement de l'usine génératrice de gaz, système Mond, construite à proximité de l'usine d'électricité. Elles ont, néanmoins, été étudiées spécialement pour le chauffage au gaz et sont pourvues, à cet effet, de brûleurs qui seront mis en service en enlevant simplement les grilles.

Les générateurs de gaz Mond, situés en dehors de l'usine électrique, sont disposés dans une charpente métallique ouverte à tous les vents ; une grue électrique, roulant sur la partie supérieure de cette plate-forme, amène le charbon de la cale des chalands, amarrés aux quais du canal longeant l'usine, aux gazogènes. La conduite de ces appareils s'effectue de la façon suivante : Dès que les foyers sont allumés, des ouvriers, placés dans une galerie, près de l'orifice de charge, alimentent les feux et surveillent la combustion du charbon en l'attisant de temps en temps avec des ringards dont la tige traverse une sphère en acier encastrée, à frottement doux, dans une cavité *ad hoc*, de manière à pouvoir manœuvrer le ringard dans tous les sens sans donner lieu à de sérieuses fuites de gaz ; de temps en temps, ils lancent, au moyen d'injecteurs, de l'air et de la vapeur sur le foyer. Le gaz produit s'échappe par un tuyau fixé à la partie supérieure de l'appareil qui le conduit aux appareils régénérateurs et purificateurs, puis aux laveurs mécaniques, sortes de grandes caisses hermétiques en tôle, que l'eau traverse de haut en bas après avoir été réduite en pluie par deux roues munies de quatre ailes et actionnées chacune par un moteur électrique placé à l'extérieur. Des laveurs, le gaz se rend à la conduite d'amenée aux chaudières

après avoir traversé l'eau d'une citerne afin d'éviter l'amas du goudron dans cette conduite. Les ventilateurs, ainsi que tous les engins mécaniques employés dans cette installation, sont mus par des moteurs électriques. Il est aussi dans les intentions de la compagnie de créer une installation d'appareils pour l'exploitation commerciale des sous-produits de la fabrication du gaz, dès que la quantité produite et utilisée le permettra.

Jusqu'à l'achèvement de l'installation des producteurs de gaz Mond, les chaudières sont chauffées au charbon ; elles ont été pourvues d'appareils accessoires, tels que pompes électriques pour l'alimentation, économiseur Green, etc., des plus modernes.

La chambre des machines renferme trois groupes générateurs de 1000 chevaux chacun, dont deux sont en fonction et le troisième en cours d'achèvement. Les deux groupes en service sont composés chacun d'une dynamo Mather et Platt, à courant continu, accouplée à un moteur Raworth du type dit « Universel » à deux cylindres. Les deux dynamos Mather et Platt sont des machines à 12 pôles, produisant 1 200 ampères sous 550 volts, à une vitesse angulaire de 200 t : m. Les induits sont à encoches, avec enroulements compensateurs. Elles fonctionnent avec deux survolteurs enroulés pour compenser un courant jusqu'à 200 ampères.

Le troisième groupe, qui devait être mis en fonction dans le courant de décembre, est destiné à l'alimentation du réseau à courants triphasés ; il est composé d'un moteur à vapeur Browett et Lindley, de 1000 chevaux, accouplé directement à un alternateur de l'Allgemeine Elektricitaets Gesellschaft, enroulé pour produire du courant continu à 500 volts et des courants triphasés d'une égale tension en quantité qui sera jugée nécessaire.

Un quatrième groupe est prévu, qui comprendra un alternateur à courant de haute tension.

Le prix de vente du courant est basé sur le système de la demande maximum. Pour la force motrice, l'énergie est vendue 0,15 fr. le kw-h pour les 1 200 premières heures et 0,05 fr. pour chaque unité supplémentaire. Pour l'éclairage, le kilowatt-heure est taxé à 0,40 fr. pour les 400 premières heures et et 0,15 fr. pour chaque unité supplémentaire. L. D.

TÉLÉGRAPHIE

Télégraphie sans fil à travers l'Atlantique. — Les journaux techniques américains et anglais des 21 et 26 décembre nous entretiennent d'un fait sensationnel dont s'est également occupé la presse quotidienne : Marconi serait parvenu à recevoir des signaux à travers l'Atlantique.

Les signaux étaient envoyés de Poldhu, station érigée depuis quelque temps déjà sur la côte anglaise des Cornouailles ; ils ont été reçus à Terre-Neuve, où M. Marconi vient d'installer un poste de télégraphie sans fil pour les besoins de la navigation. La distance des deux postes est de 1 830 milles marins, soit environ 3 400 km ; elle est onze fois plus considérable que celle (300 km) qui sépare les postes de l'île de Wight et du cap Lizard (Cornouailles) entre lesquels M. Marconi était parvenu à échanger des signaux hertziens. La différence entre le précédent record et le nouveau est donc des plus importantes.

L'*Electrical World and Engineer* du 21 décembre nous fournit les renseignements suivants sur la manière dont ont été conduits les essais et les résultats obtenus : Avant son départ d'Angleterre, M. Marconi avait disposé un puissant appareil transmetteur et donné l'ordre d'émettre les signaux correspondant à la lettre S pendant plusieurs heures chaque jour à partir du jour qu'il fixerait. Le 9 décembre, l'installation réceptrice de Terre-Neuve étant prête, il câblait d'envoyer les signaux de 3 heures à 6 heures du soir, heure de Greenwich, en retard de 2 h. 30 sur l'heure locale de Terre-Neuve. Le mercredi suivant, un cerf-volant muni d'un fil antenne ayant été lancé et un téléphone très sensible ayant été connecté au cohéreur, M. Marconi perçut les signaux ; le jeudi les essais furent repris et la perception fut des plus nettes ; le lendemain les signaux furent également entendus, mais moins nettement que le jeudi.

Mais les sons perçus proviennent-ils bien des ondes hertziennes envoyées d'Angleterre ? Ne seraient-ils pas dus à l'électricité atmosphérique, les signes Morse correspondant à la lettre S se produisant parfois pour cette cause sur les lignes aériennes ? M. Marconi prétend qu'il n'a pu se tromper sur l'origine des signaux qu'il a reçus et plusieurs savants, parmi lesquels M. Lodge, admettent fort bien la possibilité de pouvoir déceler les ondes hertziennes à d'aussi grandes distances en faisant usage d'appareils de grande sensibilité. Nous serons d'ailleurs sans doute fixés prochainement sur ce point, car M. Marconi a quitté l'Amérique dans le but d'installer à Poldhu des appareils transmetteurs plus puissants encore que ceux qui s'y trouvent actuellement.

Une difficulté, d'ordre commercial et à laquelle il était loin de songer, retardera peut-être M. Marconi. La Anglo-American Commercial Company, qui exploite un câble transatlantique atterrissant à Terre-Neuve, lui a en effet signifié par huissier d'avoir à cesser tout essai en vertu du monopole qu'elle prétend détenir d'assurer la transmission de tout signal transatlantique à destination de Terre-Neuve. La prétention de la Compagnie est assez grotesque, car ces essais ne peuvent évidemment avoir, pendant quelque temps encore, qu'un intérêt scientifique et il est probable que, même en admettant que M. Marconi parvienne à transmettre de véritables messages à travers l'Atlantique, le monopole qu'elle prétend avoir et qui expire dans deux ans, n'existera plus au moment où une concurrence serait à craindre. Cette crainte est d'ailleurs des plus chimériques : en raison de leur sensibilité, les appareils récepteurs utilisés seront influencés, et par les perturbations électriques de l'atmosphère, et par les signaux envoyés par les diverses stations d'émission dont le nombre s'accroît assez rapidement ; la sûreté de la transmission sera donc des plus précaires et comme d'autre part sa rapidité est de beaucoup inférieure à celle obtenue sur les câbles transatlantiques, il ne semble pas que ceux-ci aient de longtemps à compter avec la concurrence de la télégraphie sans fil.

ÉLECTROCHIMIE

Fabrication électrique du fer, procédé Stassano. — Nous avons déjà signalé ce procédé, et, au mois de septembre dernier, M. Stassano nous informait qu'une installation était en construction en vue d'essais industriels. M. Delahaye

donne, dans la *Revue Industrielle* du 21 décembre, les quelques renseignements qui suivent sur cette installation :

Trois hauts-fourneaux électriques, d'une puissance de 500 chevaux chacun, ont été construits dans la vallée de Camonica. Ils ressemblent dans leurs grandes lignes aux cubilots à coke, et se distinguent uniquement par les dispositions prises pour l'introduction du courant électrique et le logement des électrodes. Avant d'y être chargé, le minerai est l'objet d'une préparation minutieuse : il est d'abord pulvérisé, et, au besoin, concentré, sans doute par triage magnétique ; puis il est mélangé aux quantités de charbon, chaux ou silice reconnues nécessaires ; enfin il est moulé en briquettes, après addition de 5 à 10 p. 100 de goudron de houille. Sous l'influence de la chaleur produite au voisinage de l'arc électrique jaillissant entre les électrodes, le minerai se décompose et il y a formation d'acide carbonique : celui-ci, en s'élevant dans le fourneau, est ramené à l'état d'oxyde de carbone avec réduction partielle du minerai qu'il rencontre. La dépense d'énergie électrique serait de 3 000 chevaux-heure par tonne de métal produit.

AVIS

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

A E	American Electrician.
A I E	Association amicale des Ingénieurs électriciens.
A I E E	Transactions of the American Institute of Electrical Engineers (New-York).
A I M	Association des Ingénieurs électriciens sortis de l'Institut électrotechnique Montefiore.
B S E	Bulletin de la Société d'encouragement.
C A E	Centralblät fur Accumulatoren und Elementenkunde.
D A	Annalen der Physik und Chemie de Drude (Leipzig).
D E L	Die Elektricitæt (Leipzig).
E	Engineering (Londres).
E C	L'Electrochimie.
E C Z	Elektrochemie Zeitschrift (Berlin).
El	The Electrician (Londres).
Elé	L'Electricien.
Els	L'Elettricista (Rome).
E M	The Engineering Magazine (New-York).
E N A	Elektrotechnischer Neuigkeits Anzeiger (Vienne).
E R	Electrical Review (Londres).
E R N Y	Electrical Review (New-York).
E T R	Elektrotechnische Rundschau (Francfort-sur-Mein).
E T Z	Elektrotechnische Zeitschrift (Berlin).
E W	The Electrical World and Electrical Engineer (New-York).
G C	Le Génie Civil.
I C	Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France
I E	L'Industrie électrique.
I E C	L'Industrie électrochimique.
J E E	Journal of the Institution of Electrical engineers (New-York).
J F I	Journal of the Franklin Institute (Philadelphie).
J P	Journal de Physique.
J T	Journal télégraphique (Berne).
N C	Il Nuovo Cimento (Pise).
P M	Philosophical Magazine (Londres).
P R	Physical Review.
P S L	Proceedings of the Physical Society of London.
R C T	Revue générale des chemins de fer et des tramways.
R G S	Revue générale des Sciences.
Ri	Revue Industrielle.
R L	Rendiconti della Accademia dei Lincei (Rome).
R M	Revue de mécanique.
S A	Journal of the Society of arts (Londres).
Sie	Bulletin de la Société Internationale des Electriciens.
S R J	Street Railway Journal (New-York et Chicago).
S F P	Société française de physique.
T P	Revue des Transports parisiens.
U E	Bulletin des Usines électriques.
Z E C	Zeitschrift für Elektrochemie (Halle).
Z E T	Zeitschrift für Elektrotechnik (Vienne).

Théorie.

Théorie électromagnétique, Oliver Heaviside (El., p. 209, 29 novembre).
Propriétés électriques des alliages de cuivre et de Cobalt ; G. Reichardt (D A, VI, p. 832-856, décembre).
Procédé pour rendre visible la déformation des courants alternatifs ; Weber (D A, VI, p. 565-570, novembre).
Recherches électrométriques sur l'induction unipolaire ; O. Grotrian (D A, VI, p. 794-818, décembre).
Expériences sur la conductibilité des jets d'eau (S R J, p. 440, novembre).
Remarques sur le potentiel des électrodes ; F. Haber (Z E C, p. 1043, décembre).
Appareil pour démontrer et calculer le déplacement des ions ; R. Abegg (Z E C, p. 1011, 21 novembre).
Développement de l'idée d'électrons ; W. Kauffmann (E R N Y, p. 667, 30 novembre ; El, p. 95, 8 novembre).
Action des ions sur un jet de vapeur et grandeur des charges qu'ils transportent ; W. Lemme (J P, p. 759, décembre).
Sur l'importance des méthodes et des théories électriques au point de vue chimique ; Nernst (Z E C, p. 1004, 14 novembre).
Note sur la longueur des étincelles de rupture dans un circuit inductif (P M, p. 653, décembre).
Sur les conditions influençant la chute de potentiel aux électrodes des décharges dans les tubes à vide ; C.-A. Skinner (P M, p. 616, décembre).
Electrisation de l'air par la décharge en lueurs ; O. Lehmann (D A, VI, 661-681, décembre).
La découverte des ondes électriques par Hertz ; E. Lecher (E T R, p. 27, 1er novembre).
Quelques remarques sur les oscillations dans l'excitateur de Hertz ; K.-R. Johnson (J P, p. 756, décembre).
Sur la propagation des oscillations hertziennes dans l'eau ; G. Gutton (J P, p. 752, décembre).
Détermination de la résonance électrique par le cohéreur ; F. Kiebitz (D A, VI, p. 741-754, décembre).
Sur la loi des vibrations électriques. — Réponse à M. M. Lamotte (N C, p. 173, septembre).
Notes sur les rayons X ; William Rollins (E R N Y, p. 671, 30 novembre).
Nouvelle méthode pour obtenir des épreuves stéréoscopiques à l'aide d'un tube de Rœntgen ; Eug. W. Caldwell (E R N Y, p. 601, 16 novembre).
Action des rayons de Becquerel sur les bactéries ; Aschkinass et Caspari (D A, VI, p. 570-575, novembre).
Aimantation rémanente dans divers aciers spéciaux (au manganèse, au chrome, au nickel, au tungstène) ; A. Abt (D A, VI, p. 774-784, décembre).

Sur la force démagnétisante dans les barreaux cylindriques de section circulaire; C. BENEDICKS (D A, VI, p. 726-741, décembre).
Relation entre la dissipation d'énergie par hystérésis et l'intensité de l'aimantation: MAURACH (DA, VI, p. 580-590, novembre).
Application de l'électromètre à quadrant à la mesure balistique des champs magnétiques et de la susceptibilité de l'eau; KÖNIGSBERGER (D A, VI, p. 506-520, novembre).
Loi de l'induction magnétique; E. MÜLLENDORF (E T Z, p. 925, 7 novembre).
Sur la rotation unipolaire; G.-R. OLSHAUSEN (D A, VI, p. 681-726, décembre).
Sur la bobine d'induction; LORD RAYLEIGH (P M, p. 594, décembre).
Quelques expériences avec l'interrupteur Wehnelt; M.-A. CODD (E R, p. 787, 15 novembre).
Interrupteurs de courant continu de la maison Lecarme frères et Michel; Henry DENIS (Elé, p. 359, 7 décembre).
Histoire de quelques coups de foudre et leurs conséquences au point de vue de la construction des paratonnerres; F. NEESSEN (E T Z, p. 991, 28 novembre).
Polarisation rotatoire magnétique dans l'intérieur d'une bande d'absorption; H. VOIGT (D A, VI, p. 784-794, décembre).
Recherches sur la pression due à la lumière; Peter LEBEDEW (El, p. 226, 29 novembre; p. 264, 6 décembre).
Contribution à la théorie des électrons en optique; VOIGT (D A, VI, p. 459-506, novembre).
Traitement électrique des maladies de peau (E l, p. 294, 13 décembre).
Question d'arbitrage au point de la vue de la priorité des courants ondulatoires, appelés « courants Morton » et qui seraient produits par des machines statiques (E W, p. 893, 30 novembre).

Génération et distribution.

Moteurs thermiques et hydrauliques. — Régulateur à relais électrique Pelton pour turbine (A E, p. 604, décembre).
Cheminées en briques pour stations centrales; William D. ENNIS (A E, p. 570, décembre).
La chaudière « Stirling » (E R, p. 817, 15 novembre).
De l'emplol du zinc dans les chaudières à vapeur; R.-A. DOUGLASS (A E, p. 572, décembre).
Deux appareils anglais pour la purification de l'eau d'alimentation des chaudières (A E, p. 576, décembre.
Expériences sur l'échappement de la vapeur à travers les orifices; M. RATEAU (R I, p. 464, 23 novembre).
Appareil permettant l'économie du chauffage dans la production de vapeur (E R N Y, p. 520, 26 octobre).
Surchauffeur de vapeur, système Babcock et Wilcox (E l, p. 296, 13 décembre).
Expériences et résultats fournis par l'emploi de vapeur très surchauffée (A E, p. 525, novembre).
L'usine génératrice moderne, pourvue de tours de réfrigération pour la condensation de la vapeur; J.-H. VAIL (S R J, p. 478, novembre).
Sur la chaleur non utilisée dans les machines à vapeur; R.-A. DOUGLASS (A E, p. 520, novembre).
Pressions latérales dans les conduites de vapeur; A.-S. MANN (A E, p. 528, novembre; p. 574, décembre).
Machines à vapeur pour groupes électrogènes des différentes nations; Philipp DAWSON (E M, p. 161, novembre).
Machines à vapeur pour stations centrales d'éclairage et de force motrice; Philipp DAWSON (E M, p. 333, décembre).
Moteurs pour actionner de puissantes dynamos; Chas. DAY (E R, p. 781, 8 novembre; S R J, p. 569, décembre).
Une nouvelle machine Compound à trois cylindres actionnant une dynamo Crompton de 200 kw. (E l, p. 171, 22 novembre).
Plan d'un moteur à vapeur destiné à commander des alternateurs; R.-H. RICE (S R J, p. 434, novembre).
La turbine à vapeur de Laval (E R N Y, p. 522, 26 octobre; E W, p. 693, 26 octobre; S R J, p. 436, novembre).
L'avenir de la turbine à vapeur; W.-E. WARRILOW (E R, p. 817, 15 novembre).
Régulation de la vitesse dans les machines à vapeur et couplage en parallèle des alternateurs; Charles-P. STEINMETZ (S R J, p. 431, novembre).
Régulation de la vitesse du moteur primaire (S R J, p. 434, novembre).
Etude du mouvement des machines à vapeur et accouplement des alternateurs en parallèle (S i c, p. 497, novembre. — 1° Exposé du programme; M. LEBLANC (p. 497). — 2° Sur une méthode de mesure expérimentale de la régularité des machines à vapeur (F. DAVID, p. 503). — 3° Méthode optique permettant de déterminer la loi de variation périodique de la vitesse d'un mobile en rotation; A. CORNU (p. 519). — 4° Définitions: Analyse des diagrammes; oscillations et résonance mécanique; conclusions: P. BOUCHEROT (p. 529).
Régulation de la vitesse du moteur à vapeur et son importance pour le couplage en parallèle des alternateurs; Ch.-P. STEINMETZ (S R J, p. 431, novembre).
Variation de la vitesse angulaire des moteurs à vapeur; P.-O. KEILHOLTZ (A I E E, p. 729, octobre).
Variation de la vitesse angulaire des machines à vapeur et son importance dans le couplage en parallèle des alternateurs; Walter I. SLICHTER (A I E E, p. 767, octobre).
Recherches sur les moteurs à gaz; F.-W. BURTALL (E, p. 663, 8 novembre; E l, 129, 15 novembre).
Projet de construction pour une machine à gaz de un cheval; J.-C. BROCSMITH (A E, p. 586, décembre.
Machine à gaz Maywood (E W, p. 829, 16 novembre).
La machine à gaz Nash; James-M. CREMER (E W, p. 740, 2 novembre).
Le moteur Diesel (J F I, p. 371, novembre).
Les gazogènes à l'Exposition universelle de 1900; Aimé WITZ (R I, p. 465, 23 novembre).
Appareil Cockerill pour l'épuration du gaz des hauts fourneaux (R I, p. 463, 23 novembre).
Moteur Noël à alcool (R I, p. 494, 14 décembre).
Statistique relative à la production et au prix de revient de l'énergie électrique par tonne de charbon; A.-D. ADAMS (E W, p. 814, 16 novembre).
Rapport préliminaire de la commission nommée par l'*American Society of mechanical engineers* pour l'unification des méthodes d'essais des machines à vapeur, à gaz et à pétrole (R M, p. 437, octobre).

Dynamos et moteurs. — Quelques types récents de dynamos et moteurs pour courant continu (E R N Y, p. 701, 7 décembre).
Types de dynamos génératrices et motrices de la Reliance Electric Company de Milwaukee (E W, p. 907, 30 novembre).
Construction des machines polyphasées A.-C. EBORALL (E l, p. 143, 15 novembre; p. 184, 22 novembre; p. 273, 6 décembre; p. 315, 13 décembre).
Règles pour la construction des moteurs et des dynamos (E W, p. 938, 7 décembre).
Discussion des qualités d'une dynamo au point de vue spécial de la disposition des encoches; M. CORSEPIUS (E T Z, p. 988, 28 novembre; p. 1003, 5 décembre; p. 1023, 12 décembre).
Sur le rendement des dynamos; C. BIENAIMÉ (I E, p. 517, 25 novembre).
Induction dans l'entrefer; F.-W. CARTER (E W, p. 884, 30 novembre).
Acier spécial (E R, p. 954, 6 décembre).
Spécification des dynamos à courant continu; Rankin KENNEDY (E R, p. 911, 29 novembre).
Types nouveaux de génératrices à courant continu, spécialement destinées à la transmission de l'énergie (E R N Y, p. 589, 9 novembre).
Génératrices Bullock pour tramways (E W, p. 905, 30 novembre).
Sur quelques accidents survenus aux dynamos Brush pour l'éclairage à arc et sur les moyens d'y remédier; F. B. O'HANLON (A E, p. 596, décembre).

Théorie de la commutation ; Karl PICHELMAYER (E T Z, p. 967, 21 novembre).
Franklin PUNGA (E T Z, p. 1035, 12 décembre).
Sur les proportions des dynamos à commutation sans étincelles ; Rankin KENNEDY (I E, p. 542, 10 décembre).
La théorie des machines à courants alternatifs ; W. Elwell GOLDBOROUGH (E R N Y, p. 599, 16 novembre ; p. 659, 30 novembre).
Calcul de la chute de tension des alternateurs ; J. FISCHER-HINNEN (E T Z, p. 1061, 26 décembre).
Compoundage des génératrices à courants alternatifs ; Alexandre HEYLAND (E T Z, p. 1021, 12 décembre).
Expériences sur les variations périodiques qui se présentent dans l'inducteur d'un alternateur ; W. DUDDELL et E. W. MARCHANT (E L, p. 224, 29 novembre ; p. 302, 13 décembre).
Marche en parallèle des alternateurs ; Ernst-J. BERG (A I E E, p. 781, octobre).
Couplage en parallèle des alternateurs ; W.-L.-R. EMMET (S R J, p. 432, novembre).
Mise en parallèle de plusieurs groupes électrogènes à courants alternatifs ; W.-L.-R. EMMET (S R J, p. 432, novembre).
Un nouvel indicateur de synchronisme ; P. WOODBURY (A E, p. 527, novembre).
Indicateur de synchronisme et fréquencemètre ; LINCOLN (Z E T, p. 626, 22 décembre).
Transformateurs à rendement maximum ; Franklin PUNGA (Z E T, p. 609, 15 décembre ; p. 624, 22 décembre).
Transformateur de la General Electric Company pour lampes à arc en série dont le secondaire fournit du courant à intensité constante quand on alimente le primaire à potentiel constant (J F I, p. 355, novembre).
Kiosques pour transformateurs ; F. WINAWER (Z E T, p. 621, 22 décembre).
Survolteurs pour batteries d'accumulateurs (S R J, p. 416, novembre).
Survolteurs pour batteries d'accumulateurs ; Philipp-W. DAVIS (S R J, p. 417, novembre).
Calcul d'un survolteur ; Walter M. HOLLIS (A E, p. 425, novembre).
Convertisseurs rotatifs ; A. S. M'ALLISTER (A E, p. 568, décembre).
Projet d'un convertisseur rotatif ; David B. RUSHMORE E M, p. 414, décembre).
Petit groupe électrogène de 12 kilowatts (E W, p. 831, 16 novembre).
Moteur à courant alternatif simple, synchrone sans excitation ; P. BOUCHEROT (I E ; p. 541, 10 décembre).
Nouveau moteur électrique de la Milwaukee Electric Company (E R N Y, p. 673, 30 novembre).
Nouveaux types de moteurs de la Bergmann-Elektrizitats-Werke-A.-G. (D E L, p. 591, 7 décembre).
Une nouvelle série de moteurs cuirassés (E R N Y, p. 583, 9 novembre).
Types de moteurs continus cuirassés, destinés à différents services (E R N Y, p. 617, 16 novembre).
Petits moteurs synchrones (E W, p. 829, 16 novembre ; E R N Y, p. 645, 23 novembre).
Moteurs électriques pour machines outils (E W, p. 903, 30 novembre).
Petits moteurs pour machines à coudre (E W, p. 956, 7 décembre).
Nouveau moteur monophasé démarrant seul (A E, p. 603, décembre).
Moteurs à courant continu employés dans les ateliers de la marine à Brooklyn (A E, p. 602, décembre).
Petit moteur multipolaire de 3 chevaux pour actionner l'hélice d'un bateau à vapeur ; Cecil P. POOLE (A E, p. 542, novembre).
Le moteur asynchrone ramené à un moteur synchrone par la suppression du déphasage ; Ernst. DANIELSON (E T Z, p. 1065, 26 décembre).
Calcul du diagramme polaire d'un moteur triphasé ; Oskar WEISSHAAR (E T Z, p. 943, 14 novembre).
Dispositif de sûreté automatique applicable aux démarreurs à renversement de marche pour moteurs à courant continu (Voir E T Z, p. 233) ; Rudolf KRAUSE (E T Z, p. 1066, 26 décembre).
Essais et conduite des moteurs électriques ; P. T. WHITE (E R, p. 1068, 27 décembre).

Piles et accumulateurs. — Accumulateur Pascal-Marino (E T R, p. 41, 15 novembre).
Accumulateur américain pour automobile (C A E, p. 298, 15 novembre ; p. 310, 5 décembre).
Accumulateur de Dion-Bouton et Cie, J.-A. MONTPELLIER (Elé, p. 369, 14 décembre).
Batteries d'accumulateurs et transformateurs rotatifs à 60 cycles de l'usine Hamilton à Ontario, E.-L. REYNOLDS (S R J, p. 402, novembre).
Batteries d'accumulateurs et transformateurs rotatifs pour tramways, E.-L. REYNOLDS (S R J, p. 402, novembre).
Batteries-tampons dans les usines génératrices, W.-E. HARRINGTON (S R J, p. 472, novembre).
Batterie d'accumulateurs dans une installation privée. (E R N Y, p. 619, 16 novembre).
La perte d'énergie dans les accumulateurs, B. HOPKINSON (El, p. 211, 29 novembre, p. 263, 6 décembre).
Théorie de l'accumulateur Edison Nickel-Fer, E.-F. RŒBER (E W, p. 931, 7 décembre).

Usines électriques. — Les usines génératrices fournissant la force motrice aux divers ateliers de la manufacture de graphite de Joseph Dixon (A E, p. 517, novembre).
Description de l'usine génératrice de la Narragansett electric Lighting Company qui distribue la lumière et la force à la moitié de la ville de Long-Island (E R N Y, p. 563, 9 novembre).
La nouvelle station Victoria à Nottingham (E, p. 737, 29 novembre ; p. 799, 13 décembre).
Les usines génératrices de la Salford Corporation (E, p. 803, 17 décembre).
Usine génératrice pour distribution de force dans les ateliers de la India-Rubber à Silvertown (E R, p. 803, 16 novembre).
Les nouvelles stations génératrices hydrauliques, H. MAHN (Z E C, p. 1053, 5 décembre).

Usine génératrice à haute tension de Crottorf (Saxe), Richard Apt (E T Z, p. 984, 28 novembre).
Description des principales installations visitées au cours du voyage de la mission envoyée par la Société Internationale des Electriciens à l'Exposition de Buffalo, Courbier et David (Sie, p. 396. août-septembre-octobre).
Les convoyeurs utilisés pour le transport du charbon à la station centrale d'Edimbourg (El, p. 291, 13 décembre).
Modèle de petite station centrale, C.-W. Obert (A E, p. 565, décembre).
Statistique des stations centrales de distribution d'énergie électrique établies en France au 1er janvier 1902 (IE, 10 décembre).
Recherches sur le prix de revient de l'énergie, Clyde D. Gray (J F I, p. 331, novembre).
Propositions pour la réforme des tarifs des stations centrales, K. Wilkens (E T Z, p. 1001, 5 décembre).
Quelques principes propres à rendre profitable la vente de l'électricité, A. Wright (El, p. 347, 20 décembre).
Le public, l'exploitant et la Compagnie, C.-S. Sergeant SRI, p. 468, novembre).
Sur le moyen de réaliser des bénéfices par la vente de l'électricité (E R, p. 1075, 27 décembre).

Distribution. — Sur quelques particularités des transmissions électriques à grande distance (Ele, p. 312, 16 novembre).
L'utilisation des courants polyphasés, A.-C. Eborall (El, p. 354, 20 décembre).
Notes sur le système de distribution par courants alternatifs, W.-S. Barstow (A I E E, p. 827, décembre).
Distribution à 3 fils sous 250-500 volts pour éclairage et force, Philippo Torchio (A I E E, p. 849, décembre).
Transmission des courants alternatifs et continus sur les réseaux urbains, M.-S. Hopkins (S R J, p. 470, novembre).
Distribution de l'énergie électrique dans les villes de moyenne étendue, William Lispenard Robb (A I E E, p. 843, décembre).
Distribution de l'énergie électrique dans les grandes villes, Louis A. Ferguson (A I E E, p. 791, décembre).
Distribution de l'énergie par courants triphasés et emploi d'une phase du système, W.-L.-R. Emmett (A I E E, p. 833, décembre).
Sur l'emploi des courants alternatifs pour distribution de lumière et de force, Charles F. Scott (A I E E, p. 821, décembre).
Recherches théoriques sur certaines oscillations à très haut potentiel dans les transmissions à courants alternatifs à haut potentiel, Ch.-P. Steinmetz (A I E E, p. 705, octobre).
Ondes électriques dans les réseaux de transmission, A.-E. Kennelly (E W, p. 847, 23 novembre).
Les avantages relatifs des systèmes mono, bi et triphasés pour l'alimentation des réseaux à basse tension, M.-B. Field (El, p. 297 et 343, 13 et 20 décembre).
Comparaison entre les courants triphasés et les courants continus, E. de Fodor (Z E T, p. 549 et 561. 17 et 24 novembre ; p. 577, 5 décembre).
« Distribution ». Discussion à la réunion de novembre de l'American Institute of electrical Engineers (E W, p. 890, 30 novembre ; E R N Y, p. 683, 7 décembre).
Note sur les diagrammes de courants alternatifs, W.-E. Sumpner (El, p. 350, 20 décembre).
Lieux géométriques déduits des diagrammes relatifs aux courants alternatifs, M. Schenkel (E T Z, p. 1043, 19 décembre).
Dispositifs de régulation pour les circuits à courants alternatifs, J.-Henry Hallberg (AE, p. 529, novembre ; E R N Y, p. 639, 23 novembre).
Relais pour parer aux variations de charge d'un système polyphasé (E T R, p. 37, 15 novembre).
Sur le danger qu'il y a de placer des conducteurs à haut et à bas potentiel dans le même caniveau ou de les faire passer par la même ouverture ; W. Brophy (E R N Y, p. 662, 30 novembre).
Installation des conducteurs à l'intérieur des maisons (A E, p. 592, décembre).
Échauffement des conducteurs ; W. Weiler (E T R, p. 42, 15 novembre).
Serre-file patenté de la Silvertown Cy (E R, p. 910, 29 novembre).
Câbles à haute tension ; Oscar Schaefer (El. p. 178, 22 novembre).
Les caniveaux et câbles asphaltés, système Howard (El, p. 214, 29 novembre).
Localisation des défauts dans les distributions par conducteurs souterrains ; Henry G. Stott (A I E E, p. 807, décembre).
Nouvelle forme de fusibles à rupture dans l'huile (E W, p. 952, 7 décembre).
Interrupteur pour courants alternatifs (E T R, p. 62, 15 décembre).
Facteur de charge et interrupteurs (E R, p. 1069, 27 décembre).
Les conjoncteurs-disjoncteurs employés en électricité pour la charge des accumulateurs ou la mise en parallèle de machines dynamos ; G. Fiévé (I C, p. 668, octobre).
Combinateur pour courants triphasés de la Helios Electricitäts Actien Gesellschaft (D E L, p. 534, 9 novembre).
Dimensions à donner aux conducteurs des réducteurs pour batteries ; Emile Hunke (E T Z, p. 1006, 5 décembre).
Parafoudres à cornes en fer ; Eugen Klein (E T Z, p. 1045, 19 décembre).
Construction moderne des tableaux de distribution destinés au service des tramways ; G.-M.-C. Holmann (S R J, p. 407, novembre).
Le réseau de distribution à haute tension de Buffalo ; Harold-W. Buck (A I E E, p. 813, décembre).
Transmission de l'énergie électrique des chutes de Niagara ; Lewis-B. Stilhwell (E R N Y, p. 574, 608, 636 et 665, 9, 16, 23 et 30 novembre ; p. 693, 7 décembre).
Effets destructeurs et dangers des courants à haute ten-

sion; Margaret-A. Cleaves (E R, p. 909, 29 novembre; p. 951, 6 décembre).
Prescriptions de la Société des électriciens Allemands relatives aux réseaux à basses tensions (Z E T, p. 593, 8 décembre).
La construction des canalisations intérieures et le code électrique américain; Edward Sullivan (E R N Y, p. 610, 16 novembre).
Les progrès de l'électricité et la législation anglaise, nécessité d'une révision; Percy Sellon (El, p. 351, 20 décembre; E R, p. 1 073, 27 décembre).

Applications mécaniques.

Les avantages des courants alternatifs dans les mines; Sydney F. Walker (E, p. 357, 13 septembre).
Notes sur la transmission électrique de la puissance dans les mines de charbon; H. Ravenshaw (J E E, p. 806, juin).
Transport de l'énergie électrique dans les mines de charbon; W. Habermann (Z E T, p. 409 et 466, 25 août et 29 septembre).
La génération et la transmission de l'énergie électrique dans et à partir des centres houilliers; B.-H. Thwaite E R, p. 134, 26 juillet, p. 223, 345, 9 et 30 août, p. 428 et 500, 13 et 27 septembre).
L'électricité dans les mines de montagnes; Brady (A I E E, p. 402, juin-juillet).
Installation électrique de la mine d'or de Dahlonega, Géorgie (E W, p. 498, 28 septembre).
Transport électrique d'énergie de la Société ardoisière de l'Anjou; E.-J. Brunswick (Ele, p. 50, 27 juillet, p. 72 et 82, 3 et 10 août).

Eclairage.

Lampes à arc Kœrting et Mathiesen; A. Bainville (Elé, p. 353, 7 décembre).
Relation entre l'éclairage des villes et la population; Alton-D. Adams (E R N Y, p. 578, 9 novembre).
Comptes d'abonnement des compagnies d'éclairage électrique; S.-E. Moore (S R J, p. 489, novembre).
Uniformisation des comptes des compagnies d'éclairage électrique; G.-E. Tripp (S R J, p. 491, novembre).
Comptes d'exploitation d'une compagnie d'éclairage électrique moderne (E W, p. 726, 2 novembre).
Dépréciation des installations d'éclairage et téléphoniques (E W, p. 137, 27 juillet).
L'éclairage des trains; Léo Cohn (D E L, p. 605, 21 décembre).

Electrochimie.

Questions choisies d'électrochimie; Harry C. Jones (E R N Y, p. 65, 93, 20 et 27 juillet; p. 121, 150, 182, 209, 3, 10, 17, 24 août; p. 273, 303, 339, 372, 7, 14, 21, 28 septembre; 402, 5 octobre).
L'industrie électrochimique et électrométallurgique; John-B.-C. Kershan (E R N Y, p. 466 et 511, 12 et 26 octobre).
L'électrochimie et l'électrométallurgie : Progrès en France (E R N Y, p. 628, 23 novembre).
L'industrie électrochimique; J.-W. Swan (E, p. 158 et 209, 2 août; E R, 290, 16 août).
L'électrochimie à l'Exposition Pan-Américaine de Buffalo; Konrad Norden (Z E C, p. 1067, 12 décembre).
Quelques nouvelles applications de l'électrolyse (E W, p. 102, 20 juillet).
Réactions secondaires dans l'électrolyse; J.-W. Richards (J F I, p. 201, septembre).
Réactions pyrogénées et synthèses au moyen du courant électrique; Walther Löb (Z E G, p. 903, 3 octobre).
Quelques applications de l'osmose électrique (E W, p. 942, 7 décembre).
Impression pour l'électrolyse (E, p. 225, 16 août).
Sur les actions catalytiques; W. Ostwald (Z E C, p. 995, 14 novembre).
Fabrication des électrodes par la Société des carbures métalliques (E R, p. 927, 6 décembre).
La fabrication des charbons agglomérés pour l'électricité; Worms (Ele, p. 376, 14 décembre).
Electrode Hareaus en platine (El, p. 911, 4 octobre).
Nouveautés et perfectionnements dans les procédés galvanoplastiques et l'affinage électrolytique (Z E C, p. 1064, 5 décembre).
Fabrication électrolytique des miroirs paraboliques de projecteurs (A E, p. 424, août).
Procédé Acker pour la production électrolytique du chlore et des alcalis; B.-C. Kershaw (E R, p. 20, 25 octobre).
Nouvelle forme de cuve à diaphragme pour la préparation électrolytique des chlorures et des alcalis; John B.-C. Kershaw (El p. 125, 15 novembre).
Production électrolytique des chlorates; B.-C. Kershaw (El, p. 304, 13 décembre).
Electrolyse industrielle de l'eau; Arthur Morris (E R N Y, p. 74, 20 juillet).
La soudure du plomb au chalumeau avec de l'oxygène et de l'hydrogène comprimés; L. Michaelis (Z E T, p. 460, 22 septembre).
Modifications à la cathode de mercure des cuves à électrolyse (E W, p. 297, 24 août).
Sur l'électrolyse des chlorures alcalins au moyen d'anodes en charbon; L. Sproesser (Z E C, p. 971, 987, 1012 et 1 027, 7, 14, 21 et 28 novembre; p. 1071, 1 083, 12 et 19 décembre).
Électrolyse des sels alcalins en dissolution (E T R, p. 42, 15 novembre).
L'électrolyse des chlorures alcalins fondus (E, p. 491, 4 octobre).
Électrolyse des alcalis fondus, procédé Arthur Fischer (A E, p. 536, novembre).
Récents progrès dans l'industrie des alcalis (E, p. 489, 4 octobre).
Prix de revient de l'énergie électrique transformée en carbure de calcium et préparation des gaz au moyen de l'électricité; O. Schmidt (Z E C, p. 807, 1er août).
Prix de revient de l'énergie électrique transformée en carbure de calcium et préparation des gaz au moyen de l'électricité; O. Schmidt (Z E C, p. 807, 1er août).
Notes sur la fabrication du carbure de calcium; J. Pradon (E R, p. 463, 20 septembre).
Statistiques relatives à la consommation de carbure de calcium et d'acétylène (E W, p. 817, 16 novembre).
Usine à gaz riche et à acétylène de la Compagnie des chemins de fer Paris-Lyon-Méditerranée; H. Guérin (G C, p. 421, 26 octobre).
Éclairage des locomotives par l'acétylène, système E. Cook (R I, p. 436, 2 novembre).
Le carbure de magnésium (E W, p. 382, 7 septembre).
L'importance commerciale de l'aluminium; E. Wilson (E, p. 436 et 464, 20 septembre).
L'emploi de l'aluminium comme conducteur électrique, nouvelles observations sur la durée de l'aluminium et autres métaux sous l'influence des agents atmosphériques; J.-B.-C. Kershaw (J E E, p. 348, mars).
L'aluminothermie appliquée à la soudure des rails; Hans Goldschmidt (D E L, p. 588, 7 décembre).
Nickelage au tonneau avec polissage simultané; A.-B. (Ele, p. 101, 17 août).
Affinage électrolytique du plomb (E W, p. 260, 17 août).
Préparation par voie électrolytique du peroxyde de plomb au moyen du plomb pur; Franz Peters (C A E, p. 293, 15 novembre; p. 305, 1er décembre; p. 321, 15 décembre).
Affinage électrique du cuivre; E. Walsh (E R N Y, p. 213, 17 août).
Extraction du cuivre de ses minerais par voie sèche (D E L, p. 513, 20 octobre).
Sur la réduction électrolytique de l'o-nitroanthraquinone en solution alcaline;
Idem, de l'α-dinitroanthraquimone et de la dinithroanthraquinone désignée par 1,5, toutes deux en solution acide; Joh. Moller (Z E C, p. 797, 25 juillet).
Désagrégation des fibres de bois par les courants alternatifs (E W, p. 591, 12 octobre).

Mesures.

La convention du mètre et le bureau international des poids et mesures; Ch.-Ed. Guillaume (B S E, p. 250, 31 août).

Considérations fondamentales sur les mesures électriques ; Caryl-D. Haskins (A I E E, p. 691, octobre).

L-étalonnage des appareils électriques ; J.-T. Broderick (E M, p. 24, octobre).

Influence du champ terrestre sur les instruments de précision ; Kourand Windmuller (E T Z, p. 1067, 26 décembre).

Méthodes d'essais et de mesures des courants alternatifs ; A. Campbell (J E E, p. 889, juin).

Appareils de mesures électriques divers (E W. p. 410, 14 septembre).

Instruments de mesures de Lord Kelvin ; M. Maclean (E R, p. 385, 6 septembre).

Mesure de la résistance à l'isolement des câbles télégraphiques ; K. Streckek (E T Z, p. 959, 14 novembre).

Modification à la méthode d'essai de Blavier (El, p. 953, 11 octobre.

Un élément étalon au cadmium ; H. Tinsley (El, p. 991, 18 octobre).

Boites de dérivation pour galvanomètres; Wilhelm Volkmann (E T Z, p. 653, 15 août).

Notes sur l'emploi du galvanomètre différentiel ; C.-W.-S. Crawley, (J E E, p. 908, juin).

Sur un galvanomètre parfaitement astatique ; G. Lippmann (J P, p. 475, août).

Méthode de compensation des voltmètres de la perte en ligne dans les longs feeders ; B. Field (J E E, p. 367, mars).

Voltmètre (E T R, p. 52, 1er décembre).

Méthode simple pour l'étalonnage d'un voltmètre ; J. Rowland Brown (A E, p. 573, décembre).

Construction d'un appareil servant à la fois d'ampèremètre et de voltmètre (A E, p. 500, octobre).

Nouveaux voltmètres et ampèremètres thermiques, système Chauvin et Arnoux ; A. Soulier (I E, p. 474, 25 octobre).

Voltmètres et ampèremètres inscripteurs (E R, p. 288, 16 août).

Ampèremètre Halsey à courant continu (E W, p. 231, 10 août).

Sur les transformateurs pour la mesure des courants intenses ; Ryan (A I E E, p. 395, juin-juillet).

Balance voltamétrique ; W. Pfanhauser (Z E C, p. 923, 10 octobre).

Voltamètre automatique ; P. Ferchland (Z E C, p. 976, 7 novembre).

Parallèle entre le voltamètre-balance de Pfanhauser et les voltamètres automatiques Edison et Ferchland : W. Pfanhauser (Z E C, p. 1070, 12 décembre).

Appareil de mesure pour les grandes puissances (D E L, p. 533, 9 novembre).

Wattmètre thermique Richard Bauch pour courants continus ou alternatifs (E I, p. 391, 10 septembre).

Mesure de l'énergie électrique ; Harry P. Davis (A I E E, p. 697, octobre).

Wattheuremètre ; Frank Holden (J E E, p. 944, juin.

Les compteurs d'édergie ; P. Janet (J P, p. 717, décembre).

Compteur à courant continu Japy (I E, 347, 10 août).

Compteurs à courants alternatifs Blathy-Japy (I E, p. 347, 10 août).

Compteur unipolaire Halsey (A E, p. 460, septembre).

Compteurs électrolytiques ; J.-R. Dick (E, p. 364, 13 septembre ; E R p. 531, 27 septembre ; El, p. 997, 18 octobre).

Compteur moteur inverseur (D E L, p. 488, 12 octobre).

Compteur électrolytique Wright ; J.-R. Dick (E R, p. 22, 25 octobre).

Compteur triphasé avec électro en dérivation (E T R, p. 26, 1er novembre).

Compteur pour courants produisant des champs tournants (E T R, p. 26, 1er novembre).

Compteur Hookam pour faibles courants (El, p. 86, 8 novembre).

Compteur moteur pour courant alternatif (E T R, p. 53, 1er décembre).

Compteur progressif avec indicateur de tarif automatique ; Kallmann (E T Z, p. 676, 22 août).

Compteur de temps pour trois groupes de lampes (E T R, p. 15, 15 octobre).

Indicateur à maxima, système Atkinson-Schattner, pour courants continus et alternatifs (El, p. 226, 29 novembre).

Note sur l'analyseur harmonique de Covadi ; P. Janet Sie, p. 560, novembre).

Moyen de mesurer l'angle de décalage et le facteur de puissance à l'aide d'un voltmètre ; G.-I. Hanchett (E W, p. 718, 2 novembre).

Mesure du déphasage dans les circuits triphasés au moyen d'un wattmètre ; A.-S.-Mc Allister (E W, p. 849, 23 novembre).

Indication du synchronisme et de la phase : P.-M. Lincoln (A I E E, p. 435, juin-juillet ; E R N Y, p. 414, 448 et 475, 5, 12 et 19 octobre ; El, p. 955, 11 octobre ; E W, p. 378, 1er septembre ; I E, p. 431, 25 septembre).

Appareil pour la détermination de la fréquence d'un courant alternatif ; Joseph Löwy (Z E T, p. 597, 8 décembre).

Essai d'un moteur électrique sans l'aide du dynamomètre (A E, p. 501, octobre).

Mesure du glissement d'un moteur asynchrone par la méthode stroboscopique et avec l'aide d'un tube de Braun ; Alfred Schweitzer (E T Z, p. 947, 14 novembre).

Mesure du glissement d'un moteur asynchrone au moyen d'un tube de Geissler ; Lud. Simek (E T Z, p. 1019, 5 décembre).

Compteur mécanique permettant d'évaluer le glissement d'un moteur asynchrone; Emil Ziehl (E T Z, p. 1026, 12 décembre).

Sur les mesures magnétiques par la méthode balistique; J.-A. Montpellier et M. Alliamet (Ele, p. 57, 27 juillet).

Instrument de mesure de la perméabilité du fer et de l'acier; C.-G. Lamb (J E E, p. 930, juin).

Perméamètre à lecture directe; F.-G. Baily (El, p. 172, 22 novembre).

Perméamètre Lamb et Walker (Z E T, p. 364, 28 juillet).

Nouveau perméamètre pour le fer et l'acier; Lamb et Walker (ETZ, p. 967, 21 novembre).

Perméamètre pour les essais magnétiques des corps en masse; Charles W. Drystale (El, p. 267 et 340, 6 et 20 décembre; F R, p. 1059, 20 décembre).

Essais magnétiques sur les masses de fer (E R, p. 954, 6 décembre).

Projet d'une entente internationale relative à la réglementation des machines électriques et mécaniques; Leicester Allen (E M, p. 409, décembre).

Calorimétrie; Chas. L. Hubbard (A E, p, 591, décembre).

Un nouveau Lumen-mètre (E W, p. 395, 7 septembre).

Appareil perfectionné pour la photométrie de l'arc électrique (E W, p. 549, 5 octobre).

Appareil perfectionné pour les mesures photométriques de l'arc électrique; Ch.-P. Matthews (I E, p. 521, 25 novembre).

Divers

L'Exposition internationale de Glasgow; Léon Guillet (G C, p. 329, 21 septembre).

L'Exposition internationale de Glasgow; Sydney F. Walker (E R N Y, p. 434, 12 octobre).

Exposition internationale de Glasgow (E R, p. 619 et 622, 18 et 25 octobre; p. 700, 1er novembre; El, p. 519, 26 juillet; p. 981, 18 octobre).

Quelques appareils intéressants à l'exposition de Glasgow (S R J, p. 201, septembre).

Exposition internationale de Glasgow. — Les presses du *Glasgow Herald* (El, p. 168, 22 novembre).

Sur quelques objets présentés à l'Exposition Pan-Américaine (E R N Y, p. 136, 3 août).

Exposition électrique collective à Buffalo (E W, p. 481, 21 septembre).

Exposition de la Electric Storage Battery Company (E R N Y, p. 199, 17 août).

La American Engine Company à l'Exposition Pan-Américaine (E W, p. 353, 31 août).

Les industries Westinghouse à l'Exposition Pan-Américaine; W.-M. Probasco (E W, p. 193, 3 août).

L'arbre de Noël à l'Exposition Pan-Américaine; Luther Stieringer (E W, p. 285, 24 août).

Exposition de la Société des Tramways à Buffalo (E W, p. 655, 19 octobre).

L'électricité à l'Exposition des pompes à incendie; F. Wilking (E T Z, p. 785, 19 septembre).

Concours et exposition de moteurs et appareils utilisant l'alcool dénaturé. Eclairage et chauffage; H. Guérin (G C, p. 88 et 104, 7 et 14 décembre).

Le Meeting de Buffalo de l'American Institute of Electrical Engineer (E, p. 455, 27 septembre; p. 556, 18 octobre; E W, p. 336, 31 août).

La réunion annuelle de l'American Institute of Electrical Engineers (E R N Y, p. 221 et 251, 24 et 31 août).

Rapport sur la mission envoyée par la Société internationale des électriciens au Congrès de l'*American Institute of electrical Engineers*; P. Janet (Sie, p. 381, août-septembre-octobre).

Assemblée de l'American Institute of Electrical Engineers (E W, p. 723, 2 novembre).

Réunion annuelle de l'American Street Railway Association (A E, p. 531, novembre; S R J, p. 447, novembre).

Meeting annuel de l'Association des Tramways de l'Etat de New-York (E W, p. 469, 21 septembre).

Congrès de l'Association des tramways Américains E R N Y, p. 481, 19 octobre; E W, p. 615, 12 octobre).

Meeting annuel de l'Association des Compagnies d'éclairage Edison (E W, p. 470, 21 septembre).

Meeting de Glasgow de l'Association britannique pour l'avancement des Sciences (E, p. 401 et 436, 20 et 27 septembre; p. 472, 4 octobre; El, p. 835, 20 septembre; E R, p. 465, 20 septembre).

Le Congrès international des Ingénieurs de Glasgow

(E, p. 251, 23 août; p. 309, 6 septembre; p. 349 et 387, 13 et 20 septembre; El, p. 759, 797 et 825, 6, 13 et 20 septembre; F R, p. 425, 13 septembre; E R N Y, p. 417, 5 octobre; E T Z, p. 773, 19 septembre).

Institution des ingénieurs électriciens; W. LANGDON (E R, p. 905, 29 novembre; *id.*, p. 947, 7 décembre).

Institution des ingénieurs électriciens (section de Manchester) (E R, p. 873, 29 novembre; *id.*, 949, 6 décembre).

Le laboratoire James Watt à l'Université de Glasgow (E R, p. 660, 25 octobre).

Discours du président Wordingham à la réunion d'ouverture de la Société des Ingénieurs électriciens de Manchester (El, p. 218, 29 novembre).

Le rôle de C.-E.-L. Brown dans les progrès de l'électricité; B.-A. BEHREND (E W, p. 809, 845 et 881, 16, 23 et 30 novembre; p. 932, 7 décembre).

Les nouveaux laboratoires de l'école technique supérieure de Stuttgard (G C, p. 101, 14 décembre).

Adresse du président W.-E. Langsdon à la Société des électriciens (El, 181 et 215, 22 et 29 novembre).

Sur la nature de l'enseignement à donner aux élèves ingénieurs; Frank-O. MARVIN (E R N Y, p. 162, 10 août).

Connaissances exigées d'un ingénieur en chef moderne; E.-D. WILLIAMS (A E, p. 478, octobre).

Les ateliers de construction de la Bullock Electric Manufacturing Company (E R N Y, p. 585, 9 novembre).

Les ateliers de la Stanley Electric Manufacturing Company (E R N Y, p. 541, 2 novembre).

Outillage perfectionné des ateliers Victoria (Grande Bretagne); A. LAZENBY (E M, p. 377, décembre).

La situation de l'industrie électrotechnique en Allemagne; GIRON (Ele, p. 145, 7 septembre).

Note sur les procédés anglais; E. KILBURN SCOTT (E W, p. 281, 7 septembre).

Applications industrielles de l'acier au nickel; C.-E. GUILLAUME (E M, p. 79, octobre).

Uniformisation des appareils électriques; J.-T. BRODERICK (E M, p. 177, novembre).

Jurisprudence. — Ferranti contre la British Thomson-Houston Co (El, p. 185, 12 novembre).

Sir Robert Bunsen; Dr OSTWALD (Z E C, p. 608, 16 mai).

Les nouveautés électriques et mécaniques européennes; W.-J. HAMMER (F R, p. 817, 10 mai).

L'électricité à l'Exposition Pan-Américaine (E W, p. 989, 8 juin).

Exposition internationale de Glasgow 1901 (E R, p. 1021, 14 juin).

Intallation des moteurs à vapeur et des dynamos à l'Exposition de Glasgow (E, p. 755, 14 juin).

L'exposition des moteurs et des voitures automobiles (E R, p. 827, 17 mai).

Sur les services électriques de l'Exposition Universelle de 1900; R.-V. PICOU (Sie, p. 120, mars).

Conférences à l'Institut des ingénieurs électriciens d'Amérique (E R N Y, p. 638, 20 avril).

Les travaux de la Reichsanstalt en l'an 1900 (E, p. 759, 14 juin).

Réunion de la Société d'Electrochimie allemande (Z E T, p. 605, 16 mai).

La Réunion de la « Royal Society » (E R, p. 865, 17 mai).

La vingt-quatrième réunion de l'Association nationale des Usines d'éclairage électrique à Niagara, 21, 22 et 23 mai 1901 (E R N Y, p. 674, 25 mai).

Le laboratoire national de Physique (E, p. 707, 31 mai).

Les progrès accomplis en Europe dans l'industrie électrique et mécanique; W.-J. HAMMER (E R, p. 948, 31 mai).

Corps des éclaireurs des Etats-Unis dans les pays étrangers; F.-E. GRAIN (E W, p. 928, 1er juin).

Tome XXX — Samedi 18 Janvier 1902. — 9e Année. — N° 3

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Les prix de l'Académie des Sciences. — La distribution de ces prix a eu lieu à la séance publique annuelle de l'Académie, après une allocution de M. Fouqué. Parmi les lauréats, nous relevons les noms suivants, tous connus de nos lecteurs pour leurs travaux en électricité ou en mécanique :

M. Tissot, lieutenant de vaisseau; moitié du Prix extraordinaire de Mécanique pour ses Travaux relatifs à l'utilisation de la Télégraphie sans fil par la Marine de l'État.

M. Aimé Witz; Prix Monthyon pour l'ensemble de ses travaux.

M. Boulvin, Prix Plumey, pour ses travaux sur la mécanique et particulièrement sur la machine à vapeur.

M. Pierre Curie; Prix Lacaze, pour ses travaux en électricité, que M. H. Becquerel rappelle comme il suit dans son rapport :

La découverte du radium a rendu célèbre dans le monde entier le nom de M. P. Curie, associé à celui de son éminente collaboratrice, Mme Curie.

Deux ans après que l'on eut découvert le fait inattendu que l'uranium et ses composés émettaient des radiations d'une nature inconnue, traversant les corps opaques, impressionnant une plaque photographique et déchargeant à distance les corps électrisés, M. et Mme Curie, en recherchant la généralité de ce phénomène nouveau, observèrent que certains minerais sont plus actifs que l'uranium ou le thorium ; ils eurent alors l'intuition de l'existence d'autres substances possédant à un plus haut degré les propriétés radiantes de l'uranium. Les résultats qu'ils obtinrent dépassèrent toutes les prévisions.

A la suite de nombreuses opérations chimiques dans lesquelles ils étaient guidés par les indications de l'électromètre, M. et Mme Curie parvinrent progressivement à préparer des matières dont l'activité atteignit plusieurs centaines de milliers de fois l'activité de l'uranium. Parmi ces substances, une seule, jusqu'ici, le radium, est caractérisée par un spectre d'émission lumineuse et peut être regardée comme un corps nouveau. Pour d'autres la question n'est pas encore entièrement résolue. La préparation de substances extraordinairement actives a permis, soit à M. et Mme Curie, soit à divers expérimentateurs, d'étudier des propriétés nouvelles de la matière que le faible rayonnement de l'uranium eût été vraisemblablement beaucoup plus lent à manifester.

Ce beau travail n'est pas le seul que la Commission ait eu en vue dans la décision qu'elle a prise.

Depuis vingt ans, M. P. Curie a publié divers travaux traitant des problèmes parfois très difficiles et qui, sans avoir eu le retentissement de la découverte du radium, font le plus grand honneur à la pénétration et à la sûreté de jugement de leur auteur.

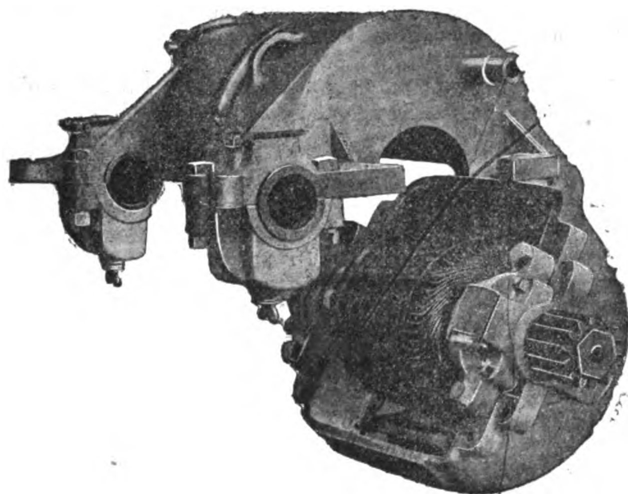
Au premier rang il faut citer la découverte de la piezo-électricité faite en commun par M. Pierre Curie et par son frère M. Jacques Curie. On savait depuis longtemps que deux corps pressés l'un contre l'autre emportent des charges électriques lorsqu'on les sépare ; le phénomène découvert par MM. Curie est tout autre. Pendant la compression de certains cristaux suivant des directions déterminées, il se dégage sur les faces de ceux-ci des charges électriques : phénomène réversible intimement lié à la pyro-électricité, mais d'un ordre plus général et qui ne s'observe qu'avec des cristaux présentant une dissymétrie particulière.

Ces recherches ont conduit M. P. Curie à des études remarquables sur la symétrie dans les phénomènes physiques, études dans lesquelles se trouvent définis pour la première fois des genres particuliers de symétrie qui caractérisent un champ magnétique ou un champ électrique, et où l'auteur fait ressortir la nécessité de l'existence d'une dissymétrie déterminée pour que tel ou tel phénomène puisse se manifester.

On pourrait rappeler encore d'autres travaux : des réflexions très intéressantes sur la formation des cristaux et sur les constantes capillaires des diverses phases, des études sur le mouvement pendulaire amorti, sur l'équation réduite de Van der Waals, ainsi que l'invention d'appareils nouveaux.

Enfin l'on ne saurait omettre de mentionner tout particulièrement une belle série de recherches sur les propriétés magnétiques des corps à diverses températures, dans lesquelles, entre autres résultats, l'auteur reconnut que pour les corps faiblement magnétiques le coefficient d'aimantation varie en raison inverse de la température absolue.

M. G. Boucherot; Prix Gaston Planté, pour ses travaux et inventions que M. Cornu, rapporteur, résume ainsi :



Éclairage

Traction

Transports d'énergie

Applications mécaniques



La Française Électrique

SOCIÉTÉ ANONYME
Au Capital de 2.500.000 fr.

COMPAGNIE de CONSTRUCTIONS ÉLECTRIQUES & de TRACTION

SIÈGE SOCIAL et ATELIERS : 99, rue de Crimée. — PARIS (XIXe)

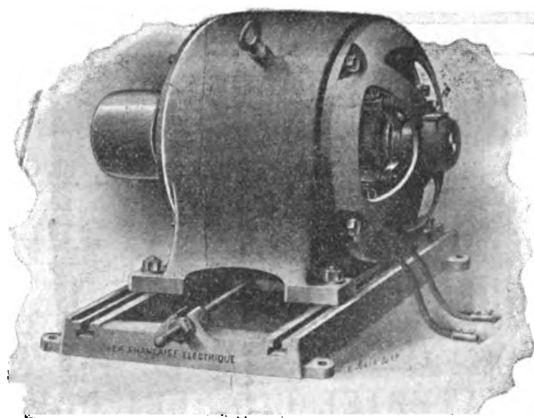


Génératrices

Moteurs

Transformateurs

Commutatrices



M. G. Boucherot s'est consacré depuis 1890 à l'étude des courants alternatifs et des nombreuses questions qui se rattachent à leur emploi industriel; comme d'autres inventeurs, il s'est d'abord laissé séduire par les avantages que l'on pourrait tirer de la combinaison des condensateurs avec les appareils producteurs et récepteurs de courants alternatifs; il a indiqué plusieurs applications intéressantes et nouvelles; malheureusement, des obstacles, les uns techniques, les autres économiques, se sont opposés jusqu'ici à l'emploi industriel des condensateurs; malgré les efforts de M. Boucherot et de ses successeurs, ils ne paraissent pas encore vaincus, et l'intérêt incontestable des recherches de M. Boucherot est plus théorique que pratique, dans l'état actuel de l'industrie.

Il a été plus heureux dans une autre voie; toujours guidé par une connaissance approfondie de la théorie, il a notamment perfectionné les moteurs d'induction, dits *asynchrones à champ tournant*, de la catégorie dite à *cage d'écureuil*, si répandus aujourd'hui grâce à leur robustesse et à la simplicité de leur construction; il a réussi à donner à ces appareils un couple notable de démarrage, sans les sacrifices exagérés de rendement, comme c'était le cas dans les appareils antérieurs, et ces moteurs ont été bien accueillis.

Deux autres questions préoccupent les exploitants de courants alternatifs. La première est celle du couplage des alternateurs, opération quelquefois très facile, mais qui avait présenté aussi des difficultés paraissant insurmontables dans d'autres cas; dans des Mémoires qui remontent jusqu'à 1892, M. Boucherot fait connaître la cause de ces insuccès, qui dépendent autant du moteur à vapeur que de l'alternateur, et sont dus à la résonance électromécanique; une fois la cause mise en évidence, il est facile de remédier à ces inconvénients. La seconde est celle du compoundage des machines puissantes; il importe que la mise en marche de moteurs importants sur un réseau ne trouble pas la marche des autres moteurs ou de l'éclairage. Plusieurs solutions ont été proposées; une au moins de celles adoptées par M. Boucherot a reçu la sanction de l'expérience.

MM. H. Gall et de Montlaur; Prix Kastner-Boursault. Le rapporteur, M. Becquerel, s'exprime ainsi :

Le prix Kastner-Boursault est destiné à l'auteur d'un travail sur les applications diverses de l'Électricité dans les Arts, l'Industrie et le Commerce. La Commission a pensé qu'elle pouvait l'attribuer à l'une des industries électrochimiques dont le développement toujours grandissant est une source de richesse pour notre pays.

Elle a choisi MM. H. Gall et de Montlaur pour leurs procédés de fabrication électrolytique des chlorates de potasse et de soude. Les lauréats sont les auteurs d'un procédé déjà ancien d'une quinzaine d'années, et, parmi leurs mérites, on peut compter celui d'avoir fondé la première usine électrochimique utilisant une des grandes sources des Alpes. On sait que, depuis lors, les grandes chutes d'eau ont attiré de nombreuses usines dans la Savoie et dans le Dauphiné.

Avant d'établir le procédé industriel en question, l'un des auteurs avait déjà pu se rendre compte de l'avantage des méthodes électrolytiques sur les méthodes purement chimiques dans des essais poursuivis en vue de l'extraction du brome des eaux-mères des marais salants; il est même regrettable que ce procédé, recommandé depuis à l'étranger, n'ait pas été utilisé en France.

L'électrolyse de la solution aqueuse d'un chlorure alcalin donne, comme on le sait, le métal et de l'hydrogène à la cathode : du chlorure et de l'oxygène à

l'anode. Le métal, en présence de l'eau, se transforme en alcali caustique.

Si les divers éléments restent en présence, des réactions multiples peuvent prendre naissance. L'emploi d'une cathode en mercure, comme l'avaient fait Berzélius et H. Davy, permet de retirer le métal, procédé qui est devenu la base de méthodes industrielles ; on peut, au contraire, favoriser l'action du chlorure sur l'alcali et obtenir des chlorates et des perchlorates. C'est la réaction utilisée par MM. H. Gall et de Montlaur.

L'élévation de la température des bains, une distribution convenable des densités autour des électrodes, dont l'anode est en platine, assurent les réactions dans des conditions économiques. A l'origine de la fabrication, les électrodes étaient entourées de diaphragmes contenant des liquides de composition différente ; plus tard, on s'est borné à protéger la cathode par de l'amiante ou par un dépôt d'hydrate de chaux. Les bains sont contenus dans des cuves en ciment armé. Le chlorate de potasse et le chlorate de soude, sels inégalement solubles, s'obtiennent par des méthodes un peu différentes. Nous ne saurions donner ici plus de détails sur les installations industrielles.

Après des essais faits en 1886, dans l'Oise, à Villers, les auteurs ont appliqué leur procédé en Suisse, à Vallorbe, utilisant 2 000 chevaux de force ; puis, en 1892, ils créèrent en France, à Saint-Michel-de-Maurienne, une usine employant 5 000 chevaux de force.

Il y a quelques années encore, la totalité des chlorates était préparée par voie chimique pure et provenait, pour la plus grande partie, d'usines anglaises. Aujourd'hui, la production française annuelle atteint 6 000 tonnes, et dans ce chiffre l'exploitation des procédés de MM. H. Gall et de Montlaur intervient pour la plus large part.

M. Gabriel Lippmann ; Prix Jean Reynaud.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Utilisation des ordures ménagères pour la production de la force motrice. — A plusieurs reprises nous avons entretenu nos lecteurs de la destruction des ordures des villes par incinération (voir en particulier les notes sur l'usine électrique de Shoreditch, t. XII, p. 285 ; XXI, p. LI ; XXII, p. II ; voir aussi t. XVIII, p. XXXVIII ; et le compte rendu de la communication de M. Lauriol à la Société des Electriciens, t. XXI, p. 437), la chaleur résultant de cette opération étant généralement utilisée à la production d'énergie électrique. Depuis plusieurs années des essais sont faits à Paris dans le but d'étudier les avantages et les inconvénients de ce procédé de destruction et d'utilisation des ordures et il est question de passer des essais à l'application en grand. Dans le numéro du 4 janvier de la *Revue Industrielle*, M. Ph. Delahaye consacre à ce projet un fort intéressant article dans lequel il donne les renseignements suivants sur les installations de Bruxelles, de Shoreditch, de Glasgow et de Saint-Helens.

L'installation de nouvelles usines à l'étranger et notamment celle de Bruxelles, a produit une certaine impression sur M. le Préfet de Police. Par le temps qui court, les Belges font notre conquête ; le Métro-

politain en est une première preuve, et voici la seconde avec l'usine d'incinération de Bruxelles. Celle-ci a même le précieux avantage de n'être pas terminée, ce qui permet à l'exécuteur des décisions du Conseil d'hygiène et de salubrité d'espérer que les inconvénients précédemment signalés pourront être supprimés. Soyons donc optimiste, jusqu'à ce que la preuve du contraire soit pratiquement faite, et souhaitons que toutes les prévisions du rapport de M. l'échevin Leurs se réalisent dans l'installation dont voici les données principales.

La ville de Bruxelles produit bon an, mal an, 80 000 tonnes d'immondices, ordures ménagères et boues de rues, qui, jusqu'à présent, ont été vendues à des agriculteurs et utilisées comme engrais, soit immédiatement après la collecte, soit après mise en dépôt à Neder-over-Humbeck, pendant la période où la consommation est nulle. L'usine d'incinération, prévue sur des terrains appartenant à la ville, à l'angle des quais de Willebroek et de la Voirie, traitera plus particulièrement, en service normal, les ordures ménagères; quant aux autres résidus composés de fumiers, de terre, de balayures des rues, il paraît qu'elles constituent un engrais relativement riche et on se gardera d'en priver l'agriculture belge, à moins qu'elle ne renonce à cette prétendue matière fertilisante, ou que des circonstances exceptionnelles n'en imposent la destruction immédiate, dans le cas d'épidémie, par exemple.

L'usine sera établie, dans le projet présenté par M. Leurs, d'après le système Horsfall qui a fait ses preuves, nous dit-on, à Zurich, à Berne, et même à Monaco, sans compter les villes anglaises : nous admettons volontiers que ce système en vaut un autre. L'installation comportera quatre massifs de six cellules munies d'un appareil à tirage forcé. Ces massifs seront groupés autour des carneaux centraux de prise d'air et d'évacuation des gaz produits par la combustion. Ceux-ci seront utilisés, à la sortie des carneaux, pour le chauffage de deux groupes de deux générateurs à vapeur, mesurant chacun 90 m² de surface de chauffe et susceptibles de fournir la force motrice nécessaire au service des fours et à la marche des machines et outils divers (dynamos, ponts élévateurs, broyeurs), qui formeront l'outillage mécanique de l'usine; ils traverseront ensuite, avant d'être déversés dans l'atmosphère, deux collecteurs de poussières du système Horsfall, où, par le simple effet de la gravité, ils se débarrasseront de toutes les matières solides qu'ils auraient pu entraîner avec eux, par suite du tirage forcé ou au moment de l'escarbillage : ces appareils appliqués à l'usine d'Horsfall d'Edimbourg, donnent, paraît-il, de très bons résultats. Enfin, après cette opération, ils échapperont dans l'air par une cheminée de 35 m de hauteur.

Le résidu de la combustion des matières, lesquelles devront, d'après le programme municipal, brûler sans addition de charbon, à une température de 600° à 800°, se présente sous forme de scories, dont le volume total correspondrait à 25 p. 100 de celui du chargement. On en escompte déjà l'utilisation en le concassant et broyant pour la confection des mortiers. A Hambourg, on se trouve très bien de ce traitement et c'est à peine si l'on peut satisfaire à toutes les demandes des entrepreneurs de bétonnage : il est évident, à priori, pour M. Leurs, qu'à Bruxelles on doit faire aussi bien, sinon mieux qu'à Hambourg.

En tout cas, l'expérience de Bruxelles ne coûtera pas trop cher : pour la somme de 450 000 fr, on aura des fours (250 000 fr), un hangar couvert (35 000 fr), une cheminée (25 000 fr), des chaudières (36 000 fr), des ventilateurs et machines (87 000 fr), un peu de maçonnerie (5 000 fr) : avec quelques hangars de plus, avec l'inévitable maison d'habitation du directeur, et l'imprévu, on s'en tirera pour la bagatelle de 600 000 fr.

Les personnes qui proposent de réaliser la destruction par le feu des ordures ménagères, ne savent pas, en général, se borner à la partie hygiénique de leur mission; elles se croient absolument tenues de prévoir une utilisation de ces restes et de parler des bénéfices de l'opération. L'usine d'incinération se transforme ainsi en un atelier de production de vapeur pour les services les plus divers : éclairage électrique, distribution de force, chauffage, établissements de bains, etc., et, au milieu de ces exploitations commerciales, les ordures ménagères sont ce dont on se préoccupe le moins. Le programme de M. l'échevin Leurs a été sagement limité au traitement des résidus de l'agglomération bruxelloise, avec transformation des scories, ce qui est le moyen, jusqu'à présent le plus économique de s'endébarrasser

Les usines à tout faire, mises à la mode en Angleterre, ne donnent pas toujours les résultats qu'on s'en promet. Il est vrai qu'il est difficile de savoir exactement à quoi s'en tenir à cet égard, la variété des entreprises entraînant une complication de comptes, dans lesquels on a peine à se reconnaître, surtout quand il s'agit d'établissements municipaux. Voici comment, en octobre dernier, le journal *Electrical Review* s'exprimait sur l'exploitation de l'installation de Shoreditch : « Les comptes de l'entreprise d'électricité et de destruction des ordures, pour l'exercice clos le 31 mars dernier, causeront une surprise désagréable aux partisans des combinaisons de ce genre, et, en particulier, à ceux qui s'intéressent à cette opération métropolitaine. Depuis plusieurs mois, il a été reconnu que le dernier exercice financier a été clos avec une perte de 2 ou 3 000 livres, et l'extrait des comptes qui vient d'être publiée accuse un déficit actuel de 3 266 l. st. (81 650 fr). » D'après cet extrait, la dépense de premier établissement est en nombre rond de 200 000 l. st. (5 millions de fr). Les dépenses pour l'exercice écoulé se sont élevées à 27 008 l. st. pour une recette de 30 682 l. st. dont 5 748 l st. provenant de l'éclairage public. Le bénéfice brut paraît être de 3 854 l. st.; il était l'année précédente de 6 206 l. st : mais l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement demandent 7 600 l. st. par an.

On explique la diminution du bénéfice brut par la crise du charbon; en 1900-1901, la dépense de combustible s'est élevée à 10 996 l. st. alors qu'elle avait été de 5 487 l. st. en 1899-1900. Où est passé ce charbon ? A détruire des ordures ou à produire de l'éclairage électrique? Le rapport de la commission municipale n'en dit mot.

A l'usine municipale de Glasgow, à défaut de comptes, on montre un nouvel atelier créé pour broyer et tamiser les scories d'incinération des ordures. D'après *Engineering*, tous les résidus recueillis pendant la nuit dans Glasgow sont manutentionnés mécaniquement, puis brûlés ou évacués le lendemain sur la campagne par chemin de fer : on ne peut pas demander mieux.

L'incinération de ces ordures laisse un résidu de 30 p. 100 environ sous forme de scories (clinker) produites à une température de 1 700 à 2 000 Fahr. (de 930 à 1 090° C). Avant l'année 1896, on s'en débarrassait en les faisant transporter aux décharges municipales. Un essai fut alors tenté d'utilisation à la confection de bétons, et assez heureusement conduit pour que la matière pulvérisée trouvât des amateurs. En 1896-97, la vente fut de 2 133 tonnes pour une somme de 242 l. st.; en 1899-1900, elle s'élève à 9 184 tonnes pour une somme de 1 089 l. st

La consommation est devenue assez importante pour qu'on ait organisé un tamisage complet, permettant de livrer la matière sous forme de sable en grains de moins de 6 mm, de morceaux criblés à 18 mm, 32 mm, 45 mm et 50 mm, avec lesquels on fait d'excellents bétons.

Si l'on veut, d'après l'expérience acquise aujourd'hui, organiser une usine d'incinération des ordures ménagères, la question se pose tout naturellement de savoir s'il y a intérêt, ou non, à lui accoupler une station centrale d'électricité.

L'exemple fourni par Shoreditch est jusqu'ici peu encourageant, et, si nous en croyons M. Highfield, directeur de l'usine d'incinération et d'électricité de Saint-Helens (Angleterre), les occasions sont rares où de pareilles entreprises sont recommandables. Cette opinion mérite d'autant plus d'être retenue que l'installation de Saint-Helens est importante et permet de se rendre compte des difficultés résultant du doublement des services. Elle comporte deux fours de deux cellules chacun, du système Beamen et Dea; chaque four est destiné à produire la vapeur dans une chaudière Babcock de 45 m² de surface de chauffe. Un ventilateur, mené par un moteur de 18 chevaux, assure le tirage forcé sous une pression de 75 mm d'eau dans les cendriers. L'usine possède cinq générateurs de vapeur, d'une puissance totale de 1 000 kw. En outre de la vapeur fournie par les chaudières des fours, il existe une batterie de 4 chaudières, type Lancashire, de 9 × 2,40 m chacune. L'ensemble est disposé de telle sorte que les deux générateurs, de 125 kw chacun, chauffés par les fours, peuvent fonctionner isolément ou conjointement avec les générateurs à chauffage par foyer ordinaire. Cette mesure de précaution est commandée par la nature même du combustible : la puissance calorifique des ordures varie d'une saison à l'autre (elle est plus élevée en été qu'en hiver) et souvent d'un jour à l'autre, et, si l'on n'avait pas d'autres chaudières, il faudrait brûler du charbon sous celles des fours, ou avoir une réserve d'escarbilles ou de déchets pour suppléer à la pauvreté des ordures.

Voici, à titre d'indication, les résultats obtenus en une année d'exploitation du 1er avril 1900 au 31 mars 1901 :

Exploitation d'un an.

Ordures brûlées.	9 778 tonnes.
Force motrice consommée à l'usine.	70 000 kwh.
Kwh produits.	365 000 »
Salaires des fours.	750 l. st.
Salaires d'entretien.	86 »
Total des salaires.	836 »
Mâchefers produits.	3 900 tonnes.
Vente de mortier.	221 l. st. 9 sh. 8 d.
Valeur du courant électrique, à 0,3 d. le kwh.	450 l. st.

Par tonne d'ordures brûlées, on peut compter en moyenne :

Kilowatts-heure produits. . . .	37,3	
Kilowatts employés à l'usine. .	3,1	
Dépenses d'incinération, salaires, éclairage et force. . . .	22,1 d.	(2,30 fr).
Entretien (salaires et matières).	3	0,32
Enlèvement des mâchefers inutilisés.	5,5	0,60

Essais d'un moteur à gaz « Stockport » alimenté par un gazogène Dawson. — Nous reproduisons ci-dessous un rapport de M Mathot, expert des tribunaux à Bruxelles, relatif à ces essais qui montrent une fois de plus combien sont économiques les installations à gaz de faible puissance. Le moteur, dit moteur « Stockport » sort des ateliers de J.-E.-H. Andrew et C°, de Reddish, près de Stockport (Angleterre).

Le 27 juin dernier, nous avons procédé aux essais de réception de l'installion de moteur et de gazogène faite par M. Kiderlen d'Amsterdam, dans les usines de la Société anonyme Matériel et Installations électriques G. Boty, à Bruxelles, conformément à une convention intervenue entre parties, en date du 20 novembre 1900

Le gazogène du système Dawson se compose :

1° D'une petite chaudière verticale à foyer intérieur et bouilleurs croisés.

2° D'un générateur actionné par une soufflerie à vapeur alimentée par la chaudière en haut.

3° D'un tuyau de refroidissement avec laveur et cuve trop-plein.

4° D'un scrubber à coke;

5° D'un laveur en aluminium;

6° D'un scrubber à sciure de bois;

7° D'un gazomètre à cloche et cuve en tôle d'une contenance de 22 mètres cubes.

Les appareils 1, 4, 5, 6 et 7 étant prévus pour alimenter dans la suite une installation triple, c'est-à-dire de 165 au lieu de 55 chevaux de force spécifiée au contrat.

Le moteur est du type horizontal monocylindrique de construction Stockport de Reddish, à distribution par soupapes et à allumage par tube incandescent et soupape alimentée par le gaz de ville. Il est du genre spécial pour l'éclairage électrique à volant unique extra lourd et troisième palier extérieur.

Les dimensions à considérer sont :

Diamètre du piston. . . .		394 mm.
Course du piston.		559 »
Volant	diamètre	2,44 »
	largeur.	0,63 »

Le moteur est muni d'un appareil de mise en marche constitué par une pompe faisant le mélange sous compression préalable pour le démarrage.

Une petite pompe rotative, commandée par courroie assure la circulation d'eau pour le refroidissement du cylindre.

Le moteur conduisait par courroie deux dynamos à courant continu. L'une, attaquée par le volant, de construction « Union Elektricitæts Gesellschaft » et l'autre, attaquée par une poulie fixée sur l'arbre coudé, de construction Bréguet.

Le rendement Swinburn de ces dynamos étant préalablement déterminé sous les régimes respectifs de 70 ampères × 210 volts et 160 ampères × 110 volts.

Après avoir établi par deux heures environ de charge préalable, le régime du fonctionnement normal du gazogène et du moteur, nous avons appliqué sur le volant un frein à bande, constitué par une courroie dont le brin tendu était relié à un peson de précision marquant la tension totale, tandis que le brin souple était chargé de poids pour régler l'adhérence.

Nous avons ainsi réglé la charge de façon à maintenir pendant trois-quarts d'heure le travail au frein de 55 chevaux effectifs avec les éléments suivants :

Diamètre moyen du volant.	2,472 m.
Epaisseur de la corde.	6 mm.
Rayon à considérer du frein. . . .	1,24 m.
Nombre de tours moyen par minute.	210

Nous avons ensuite chargé le moteur au maximum. Le nombre de tours étant 212 et le poids 170 kg avec 5 p. 100 d'explosions disponibles. Le travail correspondant était :

$$T = \frac{2\pi}{4500} 1{,}24 \times 212 \times 170 = 63 \text{ chevaux effectifs.}$$

En présence de cet excès de force sur les garanties contractuelles nous avons convenu de réduire la vitesse de 210 à 200 tours précités dont la charge était constituée par des résistances hydrauliques.

Nous avons réglé celles-ci de façon que le moteur, à 200 tours, fît 85 p. 100 d'explosions c'est-à-dire, dans les conditions de la charge sous frein avec 55 chevaux. Ces éléments ont été enregistrés à l'aide de notre appareil à graphiques.

Les dynamos réalisaient moyennement :

	UNION	BRÉGUET
Ampères.	70	160
Volts	210	110
Watts.	14 350	17 600
Rendement. . . .	89 p. 100	85 p. 100
Puissance BHP. .	22,5	28

Si on ajoute au travail ainsi soutenu de 50,5 chevaux effectifs celui absorbé par les courroies, que nous évaluons à 5 p. 100, le travail total à l'arbre du moteur serait sensiblement dans les mêmes conditions que celui relevé au frein de cinquante-trois chevaux effectifs.

Pendant les quatre dernières heures de travail seulement, nous avons à intervalles égaux relevé des diagrammes et des graphiques des explosions dont un type de chaque est annexé.

En outre nous avons établi la puissance calorifique moyenne du gaz par huit analyses faites au calorimètre « Junckers » qui accusait une puissance supérieure moyenne de 1 170 calories à la pression de 30 mm et à la température de 19° C.

Ci-dessous, les éléments de nos essais.

1. Nature et origine du combustible : Anthracite	Bassin de Charleroi.
2. Coût du combustible par tonne à la mine. fr	27,50
3. Coût du combustible par tonne à pied-d'œuvre . . . . fr	31,93
4. Consommation horaire d'anthracite au gazogène. . . . . kg	21
5. Consommation horaire d'anthracite à la chaudière . . . . kg	3,18
6. Teneur en cendres de l'anthracite. p. 100	6
7. Poids de vapeur produite à 4,5 atm. par heure. . . . . kg	19,4
8. Travail effectif moyen au volant. chevaux	53
9. Consommation d'anthracite pour le gaz par cheval-heure. . . . . eff. kg	0,396
10. Consommation d'anthracite pour la vapeur par cheval-heure. . . . . eff. kg	0,060
11. Consommation totale d'anthracite pour la vapeur par cheval-heure. . . . . eff. kg	0,456
12. Consommation de vapeur correspondante à 4,4 atm. par cheval-heure. . . eff. kg	0,366
13. Pression du gaz au moteur. . . . . mm	30
14. Quantité d'eau pour le refroidissement du cylindre entrée à 20° C et sortie à 45,5° par cheval heure effectif . . . . . . kg	23,25
15. Quantité de chaleur correspondante entraînée par le refroidissement calories.	592,8
16. Moyenne des pressions explosives initiales sur le piston. . . . . kg : cm²	22
17. Moyenne des pressions moyennes sur le piston . . . . kg : cm²	4,9

18. Travail moyen indiqué avec 85 p. 100 des explosions . . . . ch. ind. 63
19. Rendement mécanique correspondant. p. 100 84
20. Travail électrique correspondant. kilowat. 31,950
21. Coût du cheval-heure en anthracite. . fr 0,0145
22. Coût du kilowatt-heure en anthracite. fr 0,024
23. Travail électrique développé par cheval-heure effectif. . . . . watts 602,8

Pendant ces essais, la régularité cyclique du moteur évaluée sur des voltmètres apériodiques était suffisante pour maintenir les oscillations de la tension dans les limites de 1 1/2 volt en moyenne.

Plusieurs mois de marche au cours desquels nous avons surveillé le moteur et le gazogène ont établi que :

Les soupapes d'allumage, d'admission de mélange et d'échappement ne doivent être nettoyées et sommairement rôdées qu'une fois par semaine et celle du gaz, deux fois par semaine, de même que le laveur à cuve trop-plein où se déposent à l'état de boue les poussières entraînées à la sortie du tube refroidisseur.

Les feux de la chaudière et ceux du gazomètre se couvrent chaque soir et ce dernier ne demande que deux décrassages par semaine après lesquels une dizaine de kilogrammes de bois et houille suffisent pour raviver les feux.

Un seul machiniste peut conduire et entretenir toute l'installation électrogène. Il se borne à charger la chaudière et le générateur à gaz 3 à 4 fois par heure.

La fibre de bois remplaçant la sciure dans le premier scrubber doit être renouvelée tous les quinze jours et le coke du second scrubber, tous les deux mois. Ces matières peuvent, du reste après séchage, être utilisées de façon qu'elles ne sont pas perdues.

Il faut toutefois considérer que les trois derniers appareils laveurs sont de dimensions prévues pour une production de gaz triple de celle qui alimente le moteur actuel de 55 chevaux.

Nous avons constaté les dérogations suivantes aux conventions :

Gazogène : L'injecteur alimentaire à la petite chaudière est du type foulant et non aspirant, comme il conviendrait pour pouvoir fonctionner avec l'eau non en charge.

La « pompe d'alimentation destinée à être conduite par courroie » n'existe pas.

Moteur : Le piston, au lieu de 16 pouces anglais de diamètre n'en mesure que 15 et demi.

L'allumage, au lieu d'être à double, est à simple tube.

Nous estimons que la différence de diamètre de piston par rapport au chiffre spécifié par le constructeur est négligeable puisque, au point de vue de la force, le moteur a réalisé les 55 chevaux à une vitesse de 5 p. 100 moindre que celle spécifiée.

Il serait utile que l'installation fût complétée de quelques manomètres à fixer sur les appareils laveurs et les conduites de gaz jusqu'au moteur, de façon à pouvoir contrôler en tout point la pression et déterminer l'endroit des obstructions éventuelles.

L'installation a au reste bien fonctionné pendant les trois mois qui ont précédé nos essais. En vue de ceux-ci, les appareils laveurs n'avaient pas été nettoyés ni le moteur démonté. Les résultats de nos essais peuvent donc être considérés comme des résultats industriels.

Les diagrammes de compression accusaient une chute de pression de 300 gr par centimètre carré, due à l'inétanchéité de certaines soupapes.

Néammoins sous le rapport de la consommation et

de la bonne marche, les garanties contractuelles sont pleinement réalisées et on peut admettre qu'en ajoutant au coût anthracite du cheval-heure effectif, celui de l'huile de graissage et du gaz de ville pour l'alimentation du brûleur, le cheval-heure serait obtenu en marche industrielle à raison de un et demi centime quand le moteur développe de 45 à 60 chevaux.

L'huile de graissage spéciale pour le cylindre peut être filtrée et utilisée pour les autres organes. Sa consommation est de 0,5 kg par heure à 0,55 fr tandis que celle du gaz de ville pour le brûleur est de 105 litres par heure à 10 centimes le mètre cube.

En résumé, nous pouvons conclure, tant des résultats de nos expériences que du service que fait le moteur depuis une quinzaine de semaines, qu'il peut être définitivement reçu sous les réserves spécifiées pour l'adjonction des appareils manquants.

AVIS

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 11 janvier, p. XXI.

Théorie.

Sur la distribution du potentiel dans un milieu hétérogène, par A. Pétrowski ; **Remarque relative au mémoire précédent,** par W. Ignatowski, *Journ. Soc. physico-chimique russe*, XXXII, 1-36, 1900. *Idem*, 137-140, Résumé dans *J.P.*, [4], I, 45, janv. 1902. — Le mémoire de M. Petrowski est purement mathématique : l'auteur traite successivement le condensateur plan, sphérique et cylindrique, dont l'isolateur est formé par des couches de nature différente. Ensuite, il discute la distribution du potentiel dans un milieu sphérique semi-conducteur, produite par une source d'électricité constante ou soumise à des variations d'intensité harmoniques : ainsi que la capacité d'une sphère semi-conductrice. — M. Ignatowski remarque que la deuxième partie du mémoire contient une contradiction : la supposition que le champ magnétique est une fonction du rayon seul implique son indépendance du temps, c'est-à-dire l'absence de tout phénomène dynamique.

Dimension commune du potentiel et de la tension superficielle, par N. Hesehus. *J. Soc, phy.chim. russe*, XXXII, 115-126. Résumé *J.P.*, [4], I, 51, janv. 1902. — En cherchant à consolider ses idées sur la connexion entre l'électricité de contact et la tension superficielle, l'auteur remarque que, dans le système général des unités électriques et magnétiques, proposé par M. Joubin, ces deux quantités ont mêmes dimensions : M. T^{-2}, et discute les travaux de Schreiber, Lodge et autres sur le même sujet.

Electrisation par contact et dureté, par N. Hesehus, *J. Soc. phy.-chim. russe*, XXXIII, 1-22, 1901. Résumé, *J.P.*, [4], I, 52, janv. 1902. — En poursuivant ses études, M. Hesehus fait ressortir les faits suivants : la dureté des corps solides joue, par rapport à l'électrisation, le même rôle que la tension superficielle pour les liquides : le diélectrique le plus dur s'électrise positivement. L'inverse a lieu pour le contact des métaux ; le moins dur s'électrise positivement. De deux corps de

compositions identiques, celui dont la surface est mieux polie devient positif. Ces faits sont en concordance avec la théorie moderne des ions, si l'on considère avec l'auteur que l'électrisation est le résultat d'une certaine tendance des corps en contact à égaliser leurs propriétés superficielles par le transport mutuel des ions négatifs.

Figures électriques dans le champ d'un fil électrisé, par N. Orlof. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXIII, 29-33, 1901. Résumé *J. P.* [4], I, 54, janv. 1902. — L'auteur a trouvé le moyen de fixer sur une plaque de verre l'empreinte des décharges et des lueurs que MM. Borgman, Pflaun, Tommasina et autres ont observées à la surface d'un fil isolé et mis en connexion avec l'un des pôles de la bobine de Ruhmhorff. Pour cela, il pose, sous le fil bien isolé et tendu horizontalement, une bande de verre enduite d'un mastic formé de 8 parties de colophane, 2 de cire et 14 de baume de Canada ; il ferme un instant le courant primaire de la bobine et saupoudre le verre d'un mélange de minium et de soufre. En chauffant le verre, on fixe les figures obtenues.

Constantes diélectriques et tensions superficielles des mélanges de chloroforme avec l'éther et de l'alcool avec de l'eau, par N. Hesehus. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 97-102, 1900. Résumé *J. P.* [4], I, 49, janv. 1902. — L'auteur a recueilli quelques faits nouveaux, à l'appui de son idée sur la connexion entre l'électrisation au contact et la tension superficielle. Les résultats des expériences de J.-C. Philip et de W.-D. Coolidge ont établi que le mélange de 32 p. 100 d'éther et de 68 p. 100 de chloroforme possède une constante diélectrique maximum, dépassant celles des deux liquides. Les expériences de Rodenbeck sur la tension superficielle des mélanges des mêmes liquides, ainsi que celles faites par M. A. Georgiewski, d'après les indications de l'auteur, ont donné un maximum relatif notable de la tension superficielle pour les mélanges de composition moyenne. Pour le mélange d'eau et d'alcool, la coïncidence est encore plus marquée, d'après les mesures des constantes diélectriques faites par M. Tereschine, et des tensions superficielles faites par M. A. Georgiewski.

Expériences sur les étincelles électriques globulaires, par Th. Indricson. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 53-57, 1900. Résumé dans *J. P.* [4], I, 46, janv. 1902. — En répétant les expériences de M. Leduc, l'auteur a constaté une différence entre les étincelles globulaires, obtenues sur la surface d'une plaque photographique et celles de M. Planté, dont la boule se formait à l'anode et non à la cathode. Sur la plaque photographique, le globule se forme à la cathode ; il creuse un sillon visible dont le contour est suivi par les décharges consécutives, à moins qu'on n'augmente considérablement la différence des potentiels. Une couche de fleur de soufre s'oppose au passage de la décharge globulaire. Il paraît possible que la lumière intense de l'électrode négative produise une décomposition du granule le plus proche du bromure d'argent, qui devient à son tour lumineux et décompose un granule voisin, préparant ainsi une voie à l'écoulement de l'électricité.

Flamme électrique et foudre globulaire, par N. Hesehus. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 127-129, 1900. Résumé *J. P.* [4], I, 51, janv. 1902. — L'interrupteur électrique de Wehnelt, avec la bobine de Ruhmkorff, a fourni à l'auteur un moyen pour reproduire aisément, au laboratoire, la flamme électrique et la foudre globu-

laire. Il faut, pour cela, produire la décharge entre une éponge imbibée d'eau et la surface de l'eau servant d'électrodes, ou entre deux jets d'eau salée. Le moindre souffle met en mouvement la flamme électrique ainsi produite ; le mouvement est accompagné de crépitations caractéristiques. Un jet de vapeur d'eau présente une résistance trop grande pour produire une décharge disruptive ; mais, sous l'influence de la charge, il s'épaissit, prend une coloration brun bleuâtre, et un mouvement tourbillonnaire, le tout rappelant un nuage orageux. — L'auteur de l'analyse ajoute : « Je profite de l'occasion pour revendiquer la priorité de l'invention de l'interrupteur électrolytique pour feu M. Slouguinoff. Il a le premier reproduit ce phénomène et constaté la discontinuité périodique du courant. Malheureusement, dans ces temps-là, il n'avait pas à sa disposition des courants dépassant 7 à 8 ampères, de sorte qu'il n'avait nul moyen de développer son invention. Les premières expériences ont été faites, en 1878, au laboratoire de l'Université de Saint-Pétersbourg. » — La rédaction ajoute : « Nous pourrons faire observer que le phénomène lui-même avait été observé depuis longtemps par divers auteurs, notamment MM. Violle et Chassagny. Il semble bien, néanmoins, que M. Wehnelt, le premier, ait eu l'idée de l'utiliser pour en faire un interrupteur de bobine d'induction susceptible de remplacer les trembleurs ou interrupteurs électromécaniques. »

Études expérimentales sur la décharge d'un condensateur par l'étincelle, par W. Tschegliaeff. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 141-210, 1900. Résumé *J. P*, [4], I, 52, janv. 1902. — En 1890, Fitzgerald a employé le galvanomètre pour l'étude des vibrations hertziennes, sans donner l'explication du mode de cette action. Les discussions de MM. Hagenbach, Zehnder et Poincaré ont induit l'auteur à approfondir la partie expérimentale de la question en employant le système connu de Hertz-Lecher. — Les phénomènes observés par l'auteur sont trop compliqués pour que l'on puisse en donner une description succinte.

Luminescence d'un gaz raréfié entourant un fil conducteur en communication avec l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff, par J. Borgman. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 75-81, 1900. Résumé *J. P.*, [4], I, 48, janv. 1902. — M. Borgman s'est proposé d'étudier en détail le phénomène connu de la luminescence d'un fil conducteur nu, communiquantà l'un des pôles de la bobine de Ruhmkorff, dont l'autre est mis à la terre. Pour pouvoir faire varier la pression du gaz ambiant, le fil a été tendu le long de l'axe d'un tube en verre de 50×6 centimètres. Un interrupteur à micromètre et un condensateur à air de Kohlrausch étaient introduits en dérivation. Quand l'étincelle de l'interrupteur ne dépassait pas 3 mm et le fil était négatif, il apparaissait entouré d'une gaine lumineuse continue.

Sur la capacité électrique d'un tube de Geissler, par A. Aphonassieff et E. Lopouhine. *J. Soc. phy chim. russe*, XXXIII, 73-77, 1901, Résumé *J. P.*, [4], I, 54, janv. 1902. — Les auteurs ont trouvé, d'après la méthode de MM. Borgman et Petrowski, que la capacité électrique d'un tube de Geissler, est une fonction de la pression du gaz. De 0,71 unité C. G. S, à 770 mm, elle augmente jusqu'à 4,57 à 1 mm, puis elle descend un peu et devient 3,95 à 0,03 mm, limite de la raréfaction obtenue. Le caractère de la luminescence change parallèlement à la capacité du tube : aux grandes pressions, le bout de l'électrode réunie à la bobine est seul lumineux ; peu à peu la lumière prend la forme d'un fuseau lumineux ; mais, à la raréfaction correspondant au maximum de capacité, elle perd la forme d'un fuseau et remplit tout le tube. La stratification de la lumière ne commence que quand la pression du gaz devient encore moindre.

Le phénomène de Hall et la résistance du bismuth dans ou hors d'un champ magnétique, par E. Van Everdingen. *Comm. from Phys. Labo. Leiden*, n° 61. Résumé *J. P.*, [4], I, 59, janv. 1902. — Ces nouvelles recherches ont été faites au moyen de barres coupées dans un prisme de bismuth cristallin ayant servi à M. F.-Louis Perrot, de Genève, dans ses études sur les constantes thermoélectriques de ce métal ; elles ont conduit aux résultats suivants :

Dans le bismuth cristallin, le coefficient de Hall est grand lorsque la force magnétique est perpendiculaire à l'axe principal de cristallisation, très petit (c'est-à-dire de même ordre de grandeur que dans les autres métaux) quand elle est parallèle à l'axe principal ; le coefficient relatif à une force magnétique orientée d'une manière quelconque se déduit des deux cas principaux à l'aide d'un ellipsoïde de révolution.

En dehors du champ magnétique, les résistances spécifiques considérées dans toutes les directions, à l'intérieur d'un cristal de bismuth s'obtiennent au moyen des vecteurs d'un ellipsoïde de révolution autour de l'axe principal, dont le rapport des axes est donné par 5 : 3.

Dans un champ magnétique, les résistances sont également données par un ellipsoïde, qui est de révolution autour de l'axe principal, avec des axes presque égaux, si le champ est parallèle à l'axe principal, qui est à trois axes inégaux, soit quand le champ est quelconque, soit quand il est perpendiculaire à l'axe principal du cristal.

Enfin les résistances suivant deux directions rectangulaires d'une plaque de bismuth croissent inégalement en général, dans le champ magnétique, ce qui explique la dissymétrie du phénomène de Hall,

Sur une explication de l'accroissement de résistance dans un champ magnétique et des phénomènes présentés par le bismuth, par E. Van Everdingen. *Comm. from Phys. Labo. of Leyden*, n° 63. Résumé, *J. P.*, [4], I, 60, janv. 1902. — Des recherches antérieures sur les phénomènes galvanomagnétiques et thermomagnétiques dans le bismuth ont conduit l'auteur à cette hypothèse que le nombre des particules libres chargées d'électricité qui traversent le bismuth diminue, quand on excite le champ magnétique. Dans ce mémoire, l'auteur montre la possibilité d'une explication de ce phénomène, au moyen de la considération des électrons.

Sur la question du champ magnétique engendré par la convection électrique et autres questions connexes, par A. Righi. *N. C.*, [5], II, 233-257, oct. 1901. — Conférence faite le 21 septembre dernier à la Société italienne de Physique et dans laquelle l'auteur, après avoir rappelé les expériences de Rowland, Lecher, etc., décrit et discute les expériences récentes de Crémieu et autres. Sa conclusion est que malgré les résultats des expériences de Crémieu, il ne convient pas d'abandonner la théorie moderne de l'électricité, si complète et si suggestive, et que de nouvelles expériences sont nécessaires. Les principales critiques et idées de l'auteur seront prochainement développées dans un article, actuellement en préparation, sur les phénomènes magnétiques dus à la convection électrique.

Action de la lumière solaire sur la distance explosive dans l'air, par A. Garbasso, *N. C.*, II, 15 juillet 1901. — L'auteur rappelle la communication de Manuelli faite en juin 1869, à l'Académie de Turin :

En faisant des expériences de cours avec la bobine de Ruhmkorff, Manuelli resta surpris de l'influence de la lumière solaire, même diffuse sur la décharge électrique. Ayant exposé l'excitateur universel au soleil, il nota l'influence du passage d'un nuage. L'auteur, reprenant cette expérience, a renoncé à l'emploi des lentilles, dont l'absorption modifierait le phénomène, et s'est servi d'un miroir qui a en outre l'avantage de permettre la concentration d'un plus grand nombre de radiations. La lumière facilite le passage de l'étincelle et le nombre d'étincelles produites pendant un temps déterminé est beaucoup plus élevé lorsque les rayons solaires frappent les électrodes que lorsque celles-ci sont plongées dans l'obscurité. Lorsque l'on intercepte les rayons, l'action semble se prolonger pendant quelques secondes.

L'influence se manifeste à travers une lame de quartz de 1 cm ou un cristal de gypse de quelques millimètres, mais elle n'a plus lieu à travers plusieurs lames de mica ou une lame de verre de 2 cm. (Hertz. *Wied. Ann.*, t. XXI, p. 999, 1887.) Le phénomène est affaibli par l'interposition de 4 cm d'eau ; cet affaiblissement est plus

accentué encore avec une solution d'alun. Enfin la perturbation est plus importante lorsque l'action a lieu sur le pôle négatif. Garbasso attribue cette action au réchauffement des électrodes, plutôt qu'à la présence des rayons ultra-violets. Les expériences d'Herwig (*Pogg. Ann.*, t. CLIX, p. 565, 1876) sont précisément dans ce sens.

Dispersion de la polarisation rotatoire magnétique des solutions salines à rotation négative, mesurée avec le cyanure rouge, par L.-H. Siertsema. *Comm. from Phys. Labo. of Leyden*, n° 62. Résumé, *J. P.* [4], I, 60, janv. 1902. — L'auteur s'est proposé de grossir le nombre des substances à rotation négative, telles que les solutions aqueuses de $TiCl^3$ et $IcCl^3$, lesquelles empruntent leur intérêt à ce fait, signalé par M. H. Becquerel, que leur dispersion rotatoire, proportionnelle à $\frac{1}{\lambda^4}$, est beaucoup plus grande que la dispersion des substances à rotation positive, laquelle n'est proportionnelle qu'à $\frac{1}{\lambda^2}$. On évite l'inconvénient d'une trop forte absorption en opérant avec des dissolutions étendues; d'autre part, pour déduire avec une précision suffisante la rotation du sel de celle de la dissolution aqueuse, on fait les mesures à la fois sur l'eau et sur la dissolution.

Dans ce but, deux tubes de verre également longs, fermés à leurs extrémités par des glaces planes, sont disposés l'un à côté de l'autre dans une longue bobine, de telle sorte que ces tubes, dont l'un est rempli par une dissolution de cyanure rouge et l'autre par de l'eau, puissent être amenés alternativement sur le chemin d'un faisceau de lumière. La mesure de la rotation est d'ailleurs disposée comme dans les recherches antérieures de l'auteur. Pour une position fixe du nicol analyseur correspondant à une rotation du plan de polarisation de 15°,45, on observe et on mesure les longueurs d'onde λ_1 et λ_2 qui correspondent respectivement à la bande sombre observée dans la dissolution et dans l'eau, puis on ramène les rotations à une intensité 1 de courant; de la rotation magnétique de l'air connue en valeur absolue, on déduit celle de la dissolution en valeur absolue, et de cette dernière on déduit celle du sel pur pour une longueur d'onde connue.

L'expérience ainsi faite a montré à M. Siertsema que la dispersion de la substance étudiée est beaucoup plus grande que celle qu'indiquerait une simple proportionnalité à $\frac{1}{\lambda^4}$; de plus, au voisinage de la limite d'absorption qui, dans la dissolution étudiée, est d'environ $\lambda = 490\ \mu\mu$, il y a un énorme accroissement de rotation qui est tout à fait analogue à ce qu'ont trouvé respectivement en rotation positive, MM. Macaluso et Corbino avec la vapeur de sodium et M. Schmauss avec des dissolutions colorées.

Génération et Transformation.

Crapaudines à contre-pression hydraulique. *G C*, XL, 134, 21 déc. 1901. — On utilise souvent l'eau ou l'huile sous pression pour compenser la pression exercée sur la crapaudine par le pivot d'un arbre vertical de grand poids. La difficulté est d'avoir une crapaudine suffisamment étanche pour que le fluide sous pression ne s'échappe pas. Dans les dispositifs décrits cette étanchéité est obtenue par l'application du principe déjà utilisé par Deleuil dans la construction d'une machine pneumatique classique : creuser des rainures perpendiculaires à la direction du mouvement du fluide l'une des deux pièces entre lesquelles on veut assurer l'étanchéité. Dans ce but le bout inférieur de l'arbre est entouré d'un manchon dont la surface intérieure est creusée de rainures circulaires ; ce manchon est fixé à la crapaudine par une pièce élastique (un cône en tôle ondulée par

exemple) qui permet au manchon de prendre un déplacement vertical en même temps que l'arbre et qui forme avec les parois de la crapaudine une cavité parfaitement close. L'eau ou l'huile amenée sous pression par un tube débouchant au-dessous de l'arbre ne pourrait s'échapper que par l'intervalle annulaire existant entre l'arbre et le manchon, ce qu'empêchent les cannelures.

Chaudière multitubulaire Wigzell. *R I*, XXXII, 515, 28 déc. 1901. — De chaque côté du foyer se trouvent deux faisceaux tubulaires inclinés de 60° sur l'horizontale ; chaque faisceau aboutit à un corps cylindrique. Les deux corps cylindriques communiquent avec un réservoir de vapeur cylindrique situé, transversalement, au-dessus du massif de maçonnerie. Cette chaudière, dont une coupe longitudinale et transversale est donnée, présente certains avantages : grande régularité de production, fixité de la pression, circulation rapide et facilité de nettoyage des tubes.

Filtre Mac Dougall pour eaux alimentaires de chaudières. *R I*, XXXII, 514, 28 déc. 1901. — Se compose d'un réservoir cylindrique vertical A dans lequel se trouve un panier B constitué par deux cylindres concentriques sur lesquels sont appliquées des toiles métalliques très fines ; ce panier annulaire est rempli de la substance filtrante (coke en grain). Suivant l'axe du panier est un tube C dont les parois sont formées de couches successives de jute et de toiles métalliques ; il aboutit inférieurement dans un réservoir D disposé au-dessous du réservoir A. — L'eau à filtrer arrive, sous pression dans l'espace annulaire compris entre les parois du réservoir A et les parois extérieures du panier ; elle traverse la masse filtrante contenue dans celui-ci, puis les parois filtrantes du tube C et va se rassembler dans le réservoir D. — L'appareil, construit par W.-B. Haigh and C°, peut fonctionner longtemps sans nettoyage ; on le nettoie sommairement en renversant momentanément le sens de la circulation de l'eau : pour un nettoyage complet on déboulonne le couvercle du réservoir A et on retire le panier.

Séparateur d'eau et de vapeur, système Potter. *R. I*, XXXII, 496, 14 déc. 1901. — Courte description d'un séparateur basé sur le principe expérimental suivant : le tamisage de la vapeur humide à travers une série de toiles métalliques produit, par frottement des fines gouttelettes sur les fils, une élévation de température et une légère diminution de pression, circonstances qui, réunies, amènent la vaporisation de l'eau et font un peu l'effet d'une surchauffe. L'appareil consiste en un tuyau de prise de vapeur de section quelconque dans lequel sont disposées des toiles métalliques fines, séparées et maintenues par des cadres de forme convenable. Il se dispose généralement dans la chambre de vapeur de la chaudière.

Purgeurs automatiques Koppen pour machines à vapeur. *R I*, XXXIII, 6, 4 janv. 1902. — Dans chacune des branches d'un tube en U se trouve une soupape s'ouvrant de bas en haut ; les deux soupapes sont solidaires d'un levier horizontal de telle sorte que l'une est ouverte quand l'autre est fermée. Chaque branche de l'U communique avec l'un des fonds du cylindre ; la base de l'U porte un tube d'écoulement. Quand la vapeur arrive d'un côté du piston, la soupape correspondante se trouve fermée par la pression même de la vapeur ; mais alors l'autre soupape est ouverte et l'eau condensée de l'autre côté du cylindre peut s'échapper.

Machine J.-T Rossiter compound à grande vitesse par L. Descroix. *R I*, XXXII, 493, 14 déc. 1901. — L'auteur décrit d'après *Engineer* une machine de 90 ch faisant partie d'un groupe électrogène, la première du type construite par les Vauxhall Ironworks. — C'est une machine pilon à deux couples de cylindres disposés côte à côte et comprenant chacun, montés en tandem, un cylindre haute pression et un cylindre basse pression ; elle fonctionne à simple effet par une distribution à pistons-tiroirs horizontaux dont chaque organe surmonte immédiatement le cylindre auquel il correspond. La vitesse, normalement de 500 t : m, est régularisée par un régulateur-volant de construction très simple et très sensible. Le graissage sous pression y est partiellement appliqué.

Moteur de Dion et Bouton (Emplois industriels du), par L. Descroix, *R I*, XXXIII, 1, 4 janv. 1902. — L'auteur fait ressortir combien ce moteur, primitivement construit pour l'automobilisme, peut rendre de services dans l'industrie, par suite de son faible encombrement et de sa conduite facile. Il cite son application à l'élévation de l'eau, à la fabrication du beurre, à l'ébarbage des pavés de bois, etc.

Tome XXX Samedi 25 Janvier 1902. 9e Année — N° 4.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Pages.

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Exposition de Düsseldorf-sur-Rhin, 1902. — Notre correspondant nous écrit :

A en juger par l'avancement des travaux, l'exposition des produits de l'industrie des provinces Rhénanes, Westphalie et districts adjacents, qui aura lieu du 1[er] mai au 20 octobre de cette année dans la ville de Düsseldorf-sur-Rhin, ouvrira ses portes le jour précis fixé pour l'inauguration.

Le projet de cette exposition doit son origine à l'initiative des trois plus grandes corporations nationales de l'est : le groupe du nord-ouest de la Société des industriels allemands pour acier et fer ; la Société des maîtres allemands des forges, et la Société pour ménager l'intérêt commun dans la province Rhénane et la Westphalie. Le développement prodigieux, qu'ont pris ces deux provinces, les plus industrielles de l'Allemagne, depuis 1880 (l'année de la dernière exposition de Düsseldorf) et les progrès extraordinaires de toutes les branches de l'industrie dans ces deux dernières décades, furent les arguments mis en avant pour justifier l'organisation d'une exposition. Aussi dès 1898 les trois corporations nommées plus haut décidèrent-elles la création d'une exposition industrielle de la Province Rhénane, de Westphalie et des districts adjacents. Bientôt on résolut d'y adjoindre une exposition nationale allemande des beaux arts, proposée par les artistes de Düsseldorf. Comme circonstance favorable pour la vitalité de l'exposition il se trouva que, d'après le jugement des cercles intéressés, la place qui avait été réservée à l'Exposition universelle de Paris en 1900 pour l'industrie rhénane et westphalienne était absolument insuffisante à un déploiement digne de l'industrie allemande du fer, de l'acier et du charbon. Dès lors la nouvelle exposition sera en quelque sorte pour l'industrie rhénane et westphalienne le complément de l'Exposition de Paris.

On peut dès maintenant affirmer que l'exposition projetée atteindra son but et que Rhénane et Westphalie, où se trouvent appliquées toutes les branches de l'industrie, y représenteront dignement l'industrie allemande. Tous les grands établissements se sont en effet rendus à l'invitation de participer à l'exposition et actuellement ils s'occupent de monter leurs puissantes machines, d'édifier leurs constructions et d'amener leurs produits, la plupart d'entre eux dans leurs propres pavillons.

C'est l'industrie minière qui prendra la première place et avec elle l'industrie électrique, celle-ci étant maintenant inséparable de celle-là. D'ailleurs l'électricité sera largement utilisée à l'exposition : la force motrice sera transmise aux machines par l'électricité sur tous les points de l'exposition ; partout l'éclairage sera électrique.

L'énergie électrique sera produite sous trois formes : courant alternatif simple sous 10 000 volts, courants triphasés sous 5 000 et 2 000 volts, courant continu sous 2 × 220 volts, 220 volts et de 2 × 115 volts. Il y aura deux stations centrales située au rez-de-chaussée du Palais de la mécanique, comprenant 26 machines à vapeur et 27 dynamos d'une puissance totale de 15 000 chevaux. Du plus grand intérêt pourrait bien être un moteur à courants triphasés d'une force de 1 000 chevaux actionnant une pompe pour mine.

D'après le programme officiel, l'exposition comprend les groupes suivants :

I. Industries minières et salines.
II. Hauts fourneaux.
III. Industries du métal.
IV. } Machines et Industrie
V. } électrotechniques.
VI. Moyens de transport.
VII. Industries chimiques.
VIII. Alimentation.

IX. Grès, terres plastiques, ciments, faïences, porcelaines, verreries.
X. Industries du bois et de l'ameublement.
XI. Quincaillerie, mercerie, articles de fantaisie.
XII. Industrie textile.
XIII. Confections.
XIV. Cuir, caoutchouc et amiante.
XV. Industrie du papier.
XVI. Produits polygraphiques.
XVII. Instruments scientifiques.
XVIII. Instruments de musique.
XVIV. Architecture et Génie.
XX. Écoles et Instruction.
XXI. Hygiène et bienfaisance sociale.
XXII. Sports.
XXIII. Horticulture.
XXIV. Agriculture et Forêts.
XXV. Arts et Métiers.

La ville de Düsseldorf a témoigné du grand intérêt qu'elle prend à l'entreprise, en mettant un emplacement des mieux situés à la disposition de l'Exposition, et en dépensant à peu près 7 millions de marks pour cette entreprise.

Pour la première fois dans l'histoire des expositions allemandes, le prince héritier de l'Empire allemand a accordé sa haute protection à cette exposition et cela sur le vœu de l'Empereur.

La direction a pris pour principe de n'exposer que les produits de bonne marque ou présentant quelque particularité et d'exclure tout ce qui est médiocre. Comme elle paraît rester fidèle à sa promesse on espère que l'exposition contribuera à rétablir la confiance dans l'avenir de l'industrie allemande, confiance ébranlée par la présente crise économique.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Sur l'étude des régulateurs des moteurs à vapeur en vue de l'accouplement en parallèle des alternateurs. — La première commission du Comité de la Société internationale des Electriciens, présidée par M. Leblanc, met à l'étude l'influence des régulateurs des moteurs à vapeur sur l'accouplement des alternateurs. Cette question, qui formera le complément de celle de l'irrégularité des moteurs pendant la durée d'un tour, si complètement étudiée récemment par les membres de cette commission, a été l'objet d'un programme, établi par M. Guilbert, devant servir de base à son étude ; voici ce programme :

Programme. — L'influence du régulateur peut se faire sentir sur le couplage en parallèle des alternateurs de deux façons bien distinctes :

1° Par la variation de vitesse qu'il nécessite, à pression de vapeur constante, pour faire varier l'admission dans les limites voulues ;

2° Par les perturbations que peuvent introduire ses oscillations, particulièrement lorsque la charge subit des variations brusques.

I. A l'heure actuelle, il est reconnu que l'on facilite le fonctionnement en parallèle des alternateurs, conduits par moteurs séparés, en imposant à ceux-ci des chutes de vitesse assez importantes avec la charge.

N'y aurait-il pas lieu de définir l'importance de cette

chute relative de vitesse par un coefficient spécial qu'on appellerait *écart de réglage du régulateur*, et qui pourrait être défini par l'expression :

$$K = \frac{N_v - N_c}{N_c},$$

N_v et N_c étant les vitesses angulaires pour la marche à vide et pour la marche en pleine charge ?

II et III. La connaissance des courbes représentant la vitesse angulaire d'une machine à vapeur, en fonction de sa charge, aurait un grand intérêt et serait d'un précieux enseignement pour l'étude du fonctionnement des alternateurs en parallèle. Nous avons l'honneur de demander des courbes de ce genre aux constructeurs de machines à vapeur et aux directeurs de stations centrales.

Quelle est la meilleure forme de cette courbe ?

IV. La valeur de l'écart de réglage admise en général nécessite l'emploi d'un dispositif spécial pour maintenir la fréquence constante.

Quel moyen préconiser de préférence ?

V. Quelle explication donner à la nécessité d'une chute de vitesse importante, ou tout au moins quel est l'effet de cette chute sur le fonctionnement des alternateurs en parallèle ?

VI. Quels sont les types de régulateurs qui permettent d'obtenir le plus facilement les variations voulues de vitesse avec la charge ?

VII. En ce qui concerne les oscillations des régulateurs il est intéressant d'en connaitre la période.

VIII. Quels sont les procédés les plus recommandables pour l'amortissement des oscillations des régulateurs ?

IX. Quelle doit être la périodicité relative des oscillations d'un régulateur, par rapport aux autres systèmes susceptibles d'osciller dans le groupe alternateur-moteur à vapeur ?

X. Quelle est l'influence des expansions multiples sur les oscillations du régulateur dues aux variations de charge ?

XI. Lorsqu'un régulateur est muni d'un frein à huile capable d'amortir énergiquement ses oscillations propres, n'est-il pas à craindre que chaque variation de charge ne détermine d'autres variations périodiques de vitesse pouvant atteindre une grande amplitude ?

Quels moyens de prévenir ces variations de vitesse ?

XII. Lorsque plusieurs alternateurs doivent fonctionner en parallèle, n'y a-t-il pas avantage à laisser régler la vitesse de tout le système par un seul régulateur agissant sur une seule des machines à vapeur, tous les autres ne servant plus que d'organes de sécurité ?

XIII. Ne vaut-il pas mieux, tout en n'employant qu'un seul régulateur, le faire agir simultanément sur les distributions de toutes les machines à vapeur ?

AVIS

A Vendre : *14 contrôleurs Thomson-Houston* pour un moteur à 6 positions de marche, presque neufs. — Pour tous renseignements, s'adresser à M. Barth, 12, rue Alphonse-Daudet, Paris.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 11 janvier, p. XXI.

Génération et Transformation

Petits moteurs hydrauliques et leurs applications, par I. Descroix, *R. I.*, XXXIII, 13, 11 janv. 1902. — Dans cet article l'auteur cite deux exemples d'application des moteurs hydrauliques Pittman de faible puissance. — L'un est une pompe à trois corps puisant l'eau à 6 m de profondeur et la refoulant à 9,15 m de hauteur à raison de 1 365 litres à l'heure; la commande est faite par une turbine, du type Gérard, faisant 500 t : m et portant un pignon de 14 dents en cuir vert, engrenant avec une roue de 115 dents, calée sur l'arbre de la pompe triplex; la pression de l'eau actionnant la turbine est 5 atmosphères. — Le second exemple est un petit groupe électrogène situé aux Tower Works de la compagnie des eaux de Chester. Il est constitué par une dynamo d'éclairage, une turbine genre Pelton et un petit moteur à vapeur vertical de 5 chevaux; un embrayage à friction permet de coupler instantanément l'un ou l'autre moteur ou les deux à la fois avec la dynamo; ce dernier cas se présente lorsque la puissance que l'on demande à la dynamo est plus grande que celle de chacun des moteurs.

Construction des roues mobiles de turbines radiales, par N. Baashuns, *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, 9 nov. 1900. Traduit dans *B. S. E.*, CI, 820-829, déc. 1901. — Généralement on suppose que l'arête de sortie se trouve dans une surface de niveau ou d'égale vitesse, et que cette vitesse normale, égale à celle qui règne dans le tuyau d'aspiration, est acquise à l'arête de sortie. Mais il est vraisemblable qu'à chaque point de cette arête correspond une vitesse différente. Par suite, pour déterminer l'angle de la développante du cercle de l'arête de sortie en ce point, il faut y connaître la vitesse de l'eau et la vitesse à la périphérie. Cette dernière vitesse est connue en tous les points. La direction et la grandeur de la vitesse de l'eau sont données par la trajectoire de l'eau et par les surfaces de niveau. Le procédé qu'étudie l'auteur a pour but de déterminer facilement les trajectoires des filets d'eau et les surfaces de niveau en un point quelconque de la turbine, ce qui permettra de construire des aubes avec une exactitude suffisante. L'auteur applique ce procédé à une turbine « Francis » et à une turbine « Hercule ».

Foyers Schwartzkopff à charbon pulvérisé, *A. E.*, XIV, 13-14 janv. 1902. — En avant du foyer est disposé un entonnoir contenant le charbon pulvérisé; à la partie inférieure de ce récipient se trouve une brosse cylindrique en lames d'acier, normales à l'axe de 0,8 mm d'épaisseur et de 3 mm de largeur; cette brosse tourne à une vitesse de 800 à 1 000 t : m et projette le charbon horizontalement dans le foyer; un excentrique mû par l'arbre de la brosse donne à l'entonnoir des mouvements brusques facilitant la descente du charbon. Pour mettre en marche la chaudière, il convient d'allumer un peu de bois au fond du foyer; au bout d'une demi-heure la température est assez élevée pour que le charbon pulvérisé s'enflamme de lui-même. La poudre de charbon doit pouvoir passer à travers un tamis de 16 mailles par cm^2; elle est obtenue en jetant le charbon dans un concasseur rotatif; la poudre est aspirée par un courant d'air à travers un tamis qui retient les grains trop gros. L'opération revient de 50 à 75 centimes par tonne. Dans des essais faits à Chicago, où ces foyers sont appliqués dans plusieurs usines, on a constaté que 1 kg de charbon pulvérisé vaporise 7,5 kg d'eau alors que dans les mêmes chaudières 1 kg de charbon ordinaire n'en vaporise que 6,5 kg.

Allumage des moteurs à pétrole, par Gérard Lavergne, *R. I.*, XXXIII, 22-23, 18 janv. 1902. — Dans cet article, l'auteur décrit quelques types de bougies pour l'inflammation au moyen de courants secondaires fournis par une bobine d'induction ; il fait remarquer que dans les bougies d'invention récente, l'étincelle, au lieu de jaillir entre deux fils, se produit entre un fil et une pièce massive, afin d'empêcher autant que possible une modification de l'écartement normal des électrodes sous diverses influences, notamment une dilatation plus ou moins irrégulière. M. Lavergne décrit ensuite un petit appareil, appelé vérificateur d'allumage et constitué par un tube de verre contenant deux électrodes intercalées sur le circuit de l'inflammateur : quand l'étincelle éclate à celui-ci, une autre éclate au vérificateur, lequel est placé sous les yeux du conducteur. Il fait remarquer que cependant il pourrait n'en être pas ainsi, la pression du gaz environnant l'inflammateur atteignant 4 à 5 atmosphères, tandis que celle qui règne dans le vérificateur est celle de l'atmosphère ; aussi conseille-t-il, dans le but de rendre les conditions aussi semblables que possible dans les deux appareils, de comprimer le gaz dans le vérificateur à la pression qui existe dans le cylindre du moteur au moment de l'allumage. — L'auteur résume ensuite, dans les termes suivants, les allumeurs électriques avec bobines d'induction : « Nous avons décrit, sous leurs formes les plus récentes, les divers organes qui entrent dans le dispositif d'allumage d'un moteur à un cylindre : le générateur, la bobine, la came, la bougie. Ce dispositif n'est susceptible que de deux variantes : la bobine a un trembleur, alors la came n'est chargée que de laisser passer le courant primaire au moment où il devient nécessaire ; la bobine n'a pas de trembleur, alors la came, indépendamment de son office ordinaire, joue le rôle d'interrupteur. Si le moteur est à deux cylindres, on peut employer le même dispositif d'allumage que pour un seul cylindre, en plaçant les deux bougies dans le même circuit secondaire. L'étincelle se produit à la fois dans les deux cylindres, mais l'explosion n'a lieu que dans celui où le mélange carburé est prêt pour elle. Il ne faut d'ailleurs employer ce système que lorsque le calage des bielles sur le vilebrequin est tel que deux temps séparent les explosions dans les deux cylindres. Avec les bielles calées à 180°, les deux explosions se produisent dans un même quart de la révolution de l'arbre moteur ; on pourrait craindre que l'explosion se produise intempestivement dans l'un des cylindres. Le système exige l'emploi d'une bobine à quatre bornes extérieures, au lieu des bobines ordinaires dans lesquelles les bornes négatives des courants primaire et secondaire sont reliées par une barre. Mais le dispositif le plus ordinairement employé avec un moteur à deux cylindres comprend une bobine double à trembleur, dans laquelle une borne est commune aux deux courants primaire et secondaire. La came envoie alternativement le courant primaire dans chaque bobine, et l'étincelle jaillit ainsi dans chaque bougie à son tour. Si on a quatre cylindres à desservir, on prend une bobine quadruple, dans laquelle une borne est commune aux quatre inducteurs et aux quatre induits : la came ferme successivement chacun des quatre circuits inducteurs. Quelquefois une seule bobine à trembleur dessert deux cylindres ; un interrupteur spécial est alors nécessaire pour envoyer le courant secondaire, tantôt à une bougie, tantôt à l'autre. Pour qu'il remplisse bien son rôle, sans occasionner de ratés, il est prudent de ne pas s'en servir quand le moteur fait plus de 500 ou 600 tours par minute. » — Il dit enfin un mot de deux procédés, d'invention récente, dans lesquels les générateurs d'électricité affectent une forme assez particulière : « Dans l'inflammation électromagnétique Clément-Le Pontois, le générateur est constitué par un aimant puissant, dont les pôles sont placés près de la circonférence du volant. Une pièce de bronze encastrée dans ce dernier donne lieu, quand elle passe près des pôles, à un courant dans une petite bobine portée par l'un de ces derniers. Le circuit primaire de cette bobine est, à un moment donné, ouvert par un dispositif mécanique ; l'induction électrique, qui en résulte dans un cir-

cuit secondaire, produit l'étincelle à la bougie. Dans l'allumage « Le Croissant », un aimant circulaire est porté par deux tourillons creux dans lesquels passe un arbre supportant une bobine d'induction et lui imprimant un mouvement de rotation. Quand la bobine tourne à l'intérieur de l'aimant, un courant prend naissance dans le circuit primaire, et, comme celui-ci est rompu au moment convenable, une étincelle jaillit dans la bougie montée sur le courant secondaire. Ces deux procédés n'ont pas encore reçu la sanction d'un usage courant. »

Groupe électrogène de Dion et Bouton, par L. Descroix, *R.I.*, XXXIII, 23-24, 18 janv. 1902. — Dans un précédent article, l'auteur faisait ressortir les diverses applications industrielles du moteur à pétrole de Dion et Bouton (*E.E*, XXX, xliv, 18 janv. 1902) ; dans celui-ci, il décrit un groupe électrogène de 2 200 watts formé d'un de ces moteurs et d'une dynamo bipolaire à excitation en dérivation et à induit à tambour. Le réglage de la tension aux bornes de la dynamo se fait automatiquement au moyen d'un solénoïde en dérivation et dont le noyau ouvre ou ferme la valve d'admission du mélange carburé, suivant que la tension décroît ou croît. Passant au prix de revient de l'énergie électrique ainsi produite, l'auteur dit : « Le groupe électrogène de 2 200 watts, si l'on veut calculer le prix de revient de l'hectowatt-heure, consomme environ 2 litres d'essence par heure. Pour Paris, où l'essence vaut environ 0,60 fr le litre, on obtient donc le prix minime de 0,054 fr par hectowatt-heure, soit 0,07 fr, en y ajoutant les frais d'entretien et de graissage. L'essence, hors Paris, se payant en moyenne 0,35 fr le litre, l'hectowatt-heure peut y être produit couramment pour 0,032 fr, soit pour 0,05 fr en y comprenant les dépenses citées plus haut. On voit donc tout le parti économique que l'on peut tirer de cet ensemble électrogène dans les installations d'éclairage privées. »

Explosion d'une colonne de transformateurs, par W. Kübler. *E, T. Z.* XXII, 1028, 12 déc. 1901. — L'auteur relate un accident relativement rare arrivé dans la banlieue de Dresde : l'explosion d'une colonne formant poste de transformateurs par suite d'un court-circuit dans l'enroulement primaire. — Dans une colonne, formant poste de transformateurs, on avait ajouté à 6 heures du soir un petit transformateur de 5 kw sous une tension primaire de 5 000 v, destiné à alimenter un certain nombre de lampes à arc pour l'éclairage des rues. Vers 10 heures 45, le gardien de nuit, passant près de la colonne, n'avait remarqué rien d'anormal ; quand il revint, vers 11 heures, il entendit de loin un ronflement violent partant de la colonne ; s'approchant alors de cette colonne, il sentit que la paroi en fer était brûlante ; il coupa alors l'éclairage de la ville, puis s'éloigna rapidement ; à peine avait-il fait quelques pas qu'une formidable explosion se produisait et le projetant à terre. — Les parois en fer de la colonne, surtout celles de la partie supérieure, étaient déchiquetées et gondolées ; et sous l'action du déplacement d'air, plus de quarante fenêtres furent brisées au voisinage. — L'auteur se demande quelle a pu être la cause de l'explosion. Dans les recherches faites après l'accident, on a constaté les différents détails suivants : La cause de l'accident est le petit transformateur de 5 kw, intercalé le jour même dans la colonne. Ce transformateur, du type à noyaux, à bobines concentriques, portait, contrairement à l'usage généralement adopté, la bobine à haute tension voisine de la masse, et à l'intérieur de la bobine à basse tension. La bobine haute tension d'un des noyaux était complètement carbonisée ainsi que les colliers de pressspahn qui servent à l'isoler des deux côtés ; à la partie inférieure, de petits blocs de cuivre fondus s'étaient soudés au fer. L'enroulement basse tension était peu endommagé. De tout ceci, il résulte que l'accident est vraisemblablement dû à un court-circuit ordinaire sur quelques spires de l'enroulement primaire. Mais cela n'explique pas comment la colonne a pu faire explosion.

Peut-on attribuer l'explosion à l'inflammation par une étincelle du mélange d'air et d'oxyde de carbone, ce dernier résultant de la carbonisation des isolants ? — L'auteur ne le croit pas, pour les raisons suivantes : la quantité de gaz dégagée ne lui paraît pas assez importante pour arriver à un tel résultat ; de plus, la colonne était divisée en deux parties par un plancher léger, et d'après l'importance des dégradations on peut constater que l'explosion a dû avoir lieu dans la partie supérieure, alors que le transformateur en question était situé dans la partie inférieure, et que c'est dans cette partie inférieure que les gaz auraient dû se rassembler. Le plancher, très léger, n'a pas été détérioré. L'auteur incline à croire que la cause de l'accident doit être étrangère aux gaz de la carbonisation et pourrait être due à l'explosion d'un bidon d'essence, oublié par mégarde, par un monteur, sur le plancher de la colonne, ce qui serait très possible, étant donné que les monteurs emploient souvent la lampe à essence pour la soudure des connexions ; mais il fait remarquer qu'il n'a pu, malgré des recherches minutieuses, retrouver aucune trace de bidon ou de lampe à essence dans les décombres.

Remarque sur la communication du professeur Kübler, par H.-W. Hellmann. *E. T. Z*, XXII, 1073, 26 déc. 1901. — Dans cette remarque, l'auteur donne une explication assez simple des causes de l'accident de Dresde. — D'après M. Hellmann, ce sont bien les gaz inflammables, résultant de la dessiccation et de la carbonisation des isolants, des fils et aussi des colliers de pressspahn, qui ont dû provoquer l'accident. Ces gaz se sont accumulés dans la partie inférieure, puis ils ont pénétré lentement, à travers les fentes du plancher, dans la partie supérieure où ils ont constitué avec l'air un mélange explosif. Enflammés dans la partie inférieure par une étincelle quelconque de court-circuit, les gaz auront brûlé lentement à cause de leur faible proportion d'air, et l'explosion se sera produite dans la partie supérieure, par la pénétration de la flamme, à cause des proportions plus convenables d'air et de gaz. Ceci explique que les parties supérieures de la colonne aient plus souffert que la partie inférieure ; d'ailleurs la partie inférieure, solidement ancrée dans le sol, était plus résis-

tante. — Il n'est pas étonnant que le plancher ait été épargné, à cause de la contrepression résultant d'une explosion plus faible simultanée dans la partie inférieure. — Quoi qu'il en soit de ces explications, cet accident montre nettement la nécessité d'assurer une bonne ventilation des colonnes de transformateurs, pour éviter le danger résultant de l'accumulation dans ces édifices des gaz inflammables provenant de la distillation sèche des substances isolantes, ou d'autres causes accidentelles, telles que présence d'un bidon d'essence, d'alcool, etc.

Usine municipale de Waspinger's Falls, par C.W. Obert. *A. E.* XIII, 565, déc. 1901. — Ce n'est pas tant pour son importance que M. C.-W. Obert décrit cette petite usine, que pour faire valoir les avantages que l'on peut tirer avec un matériel générateur d'une capacité très faible.

L'usine est située à environ 2 km du centre du village et comprend une chaudière à retour de flamme alimentant un moteur à vapeur accouplé à un alternateur de 75 kilowatts.

Le moteur à vapeur est une machine Ball et Wood de 125 chevaux, montée sur le même bâti que l'alternateur qu'elle entraîne à raison de 300 tours par minute. L'alternateur, du type Westinghouse, produit des courants diphasés à 2 200 volts de fréquence 60. Le courant d'excitation est fourni par une dynamo de 15 kilowatts, entraînée par le volant du moteur à vapeur par l'intermédiaire d'une courroie. — Une partie du courant à haute tension alimente le réseau d'éclairage à arc ; ce réseau est constitué par un groupe de circuits distincts comprenant chacun 26 lampes Manhattan à arc clos. Le reste du courant est transformé à 104 volts pour l'éclairage à incandescence. L'installation toute entière est protégée par des parafoudres système Wurts. — Le fonctionnement de l'usine est simplifié au point qu'un homme seul suffit à assurer le service. L. D.

Usine génératrice hydraulique de Vizzola (Italie). *Elé*, XXIII, 47, 18 janv. 1902, d'après *Elettricista*. — L'usine est alimentée par les eaux du Tessin, dérivées par le canal d'irrigation de Villoresi. Une chute de 24 à 28 m permet d'utiliser 23 000 chevaux. L'usine électrique comprend 10 groupes générateurs formés d'une turbine Riva, Monneret et Cie de Milan et d'un alternateur Schuckert triphasé à 11 000 volts. Le réseau de transmission atteint un développement de près de 150 km ; 15 000 chevaux sont actuellement utilisés.

Traction

Plates-formes de voitures de tramways, par W.-E. Partridge. *SRJ*, XVIII, 525-528, déc. 1901. — Neuf photographies montrent quelques-uns des types de plates-formes adoptées en Amérique et en Europe ; l'auteur en discute les avantages et les inconvénients.

Essais de freins à air comprimé pour tramways interurbains. *SRJ*, XVIII, 531, déc. 1901. — Dans cette note sont relatés sommairement des essais faits par M. Hamlin, ingénieur de la Union Traction Co, de Indiana, sur des voitures de tramways à grande vitesse munies du frein Christinsen. Ces voitures, qui pèsent 32 tonnes à vide, sont montées sur deux bogies ; le bogie d'avant est équipé de 2 moteurs Westinghouse de 150 chevaux ; le bogie d'arrière ne porte aucun moteur. A la vitesse de 96 km : h. ces voitures ont pu être arrêtées sur moins de 250 m.

Matériel de voie de tramways de la Union Traction Company de Philadelphie. *SRJ*, XVIII, 508-514, déc. 1901. — Dans cet article se trouvent décrits le matériel et les procédés de construction de voies de tramways de la Union Traction Co. — Une voiture automotrice portant tout le matériel nécessaire pour effectuer la jonction des rails par le procédé Falk. — Les moules employés pour souder entre eux à la fonte les rails d'une voie à ceux d'une autre voie qui la croise. — Les croisements de voies de tramways et de voies de chemins de fer. — Un truck pour le transport des rails dont la longueur peut

varier de 11 à 16.5 m. — Une poinçonneuse et une machine à courber les rails. — Un appareil d'éclairage portatif formé de 5 lampes en série et d'une longue perche qui sert à prendre le courant sur le fil de trôlet; cet appareil est utilisé pour les travaux de nuit. — Des rails courbés suivant des gabarits uniformes pour l'établissement des parties en courbe.

Connecteur de rails des tramways de Genève. *S R J*, XVIII, 514, déc. 1901. — Ce connecteur est formé d'un câble souple terminé par deux cylindres de cuivre creusés d'une cavité remplie de soudure. Ces cylindres sont introduits dans des trous percés aux abouts des rails et que l'on a préalablement étamés grossièrement. On chauffe avec un brûleur à gaz; la soudure fond et l'on obtient un bon contact entre le rail et le connecteur. Les plaques d'éclissage qui recouvrent le connecteur protègent très efficacement celui-ci; des connecteurs posés il y a quelques années sont toujours en parfait état. Le prix de revient d'un joint, pose comprise, est d'environ 75 centimes.

Sécheur électrique de sable. *S R J*, XVIII, 520, déc. 1901. — Se compose d'une série de tubes entourés d'un fil traversé par un courant et disposés horizontalement sur plusieurs rangs, au fond d'un récipient où l'on verse le sable à sécher; le courant échauffe les fils et les tubes. Cet appareil est employé par la Compagnie des tramways de Sacramento à qui l'énergie électrique est fournie à très bas prix par une installation hydraulique.

Ateliers de réparations de la Metropolitan Street Railway Company de Kansas-City. *SRJ*, XVIII, 518-520, déc. 1901. — Description sommaire, accompagnée d'un plan et de coupes, de ces ateliers, actuellement en construction et qui ne coûteront pas moins de 950000 fr.

Le réseau de la Milford, Holliston et Framingham Street Railway Company (Massachusets). *S R J*, XVIII, 503-508, déc. 1901. — Ce réseau qui rayonne autour de Milford (mars) vient d'être complètement transformé par la nouvelle Compagnie exploitante qui a substitué la traction électrique à la traction à vapeur sur plusieurs lignes. L'usine génératrice établie à Milford contient actuellement deux dynamos de traction de la G. E. C., hexapolaires, 600 volts, ayant respectivement une puissance de 225 et 325 kilowatts; une dynamo Westinghouse de 600 kilowatts sera prochainement installée. Dans la même usine se trouvent deux groupes à courants alternatifs de 125 kilowatts, 2400 volts, destinés à l'éclairage de la ville. Il est prévu trois sous-stations; deux d'entre elles renfermeront une batterie d'accumulateurs destinée à régulariser l'alimentation dans quelques portions du réseau; la troisième contiendra un convertisseur rotatif transformant en courant continu des courants alternatifs triphasés à 10 000 volts engendrés à la station génératrice par un convertisseur agissant en sens inverse de celui de la sous-station : la ligne de transmission sera établie en fils d'aluminium; cette sous-station est destinée à alimenter des portions du réseau très éloignées de l'usine génératrice. Les lignes de traction sont à simple voie avec évitements assez éloignés; les fils de trôlet sont établis en double. Une ligne téléphonique suit chaque ligne de traction pour permettre aux conducteurs des voitures de s'assurer constamment que la voie est libre.

Tramway interurbain Milan-Monza, par Guido Semenza. *S R J*, XVIII, 515-518, déc. 1901. — L'auteur donne, avec de nombreuses illustrations, la description : de la sous-station où le courant alternatif à 15 000 volts de l'usine de Paderno est transformé en courant continu ; de la voie ; du matériel roulant. (Voir *L'Ecl. Elect.*, XXVIII, CLI, 21 sept. 1901.)

Tramways électriques de Portsmouth. *Tramway and Railway World*, 17 oct. 1901. — Ces tramways, établis par la municipalité, sont à trôlet aérien. Les voies sont presque complètement posées en terrain plat, mais les courbes, très nombreuses, ont des rayons très petits tombant parfois à 10 m. La longueur du réseau est d'environ 22 km de voies doubles. L'usine génératrice contient deux groupes électrogènes de 400 kilowatts et un de 240 kilowatts. La vapeur est fournie par trois chaudières Babcock et Wilcox, munies ds surchauffeurs de vapeur portant la température de 184 à 205°. L'usine renferme en outre des économiseurs Green et trois condensateurs à surface, avec deux tours de refroidissement et deux ventilateurs mus électriquement.

Chemin de fer suspendu Barmen-Elberfeld-Wohwinkel, par A. Boudon. *G C*, XL, 137-142, 25 déc. 1901. — Description illustrée de ce chemin de fer et en particulier des aiguillages, de l'équipement électrique de la voie, des stations et du matériel roulant : une description très complète ayant été donnée dans *L'Eclairage Electrique* (XXVII, 41, 13 juil. 1901), nous signalerons seulement les points suivants : les passages en courbe ne donnent lieu à aucun mouvement désagréable aux voyageurs ; l'action du vent n'est pas plus appréciable comme on a pu le constater lors d'une violente tempête les 5 et 6 octobre derniers ; la vitesse commerciale sur les 13,3 km de voie en exploitation (avec 18 stations) est de 30 à 35 km : h ; les trains de deux voitures sont espacés de 2 minutes ; le nombre des places offertes est de 3000 par heure dans chaque sens ; à la mise en marche, l'accélération varie de 50 à 80 cm : sec : sec. ; au freinage elle est de 75 cm : sec. sec. : la consommation d'énergie est de 700 w-h par km-voiture, chiffre très peu supérieur à celui correspondant à une voiture de tramways, cependant plus légère et marchant à moindre vitesse qu'une voiture du chemin de fer d'Elberfeld.

Chemin de fer électrique Montreux-Montbovon (Suisse). *Elé*, XXIII, 47, 18 janv. 1902, d'après *Elektro-Teckniker* de Vienne. — Ce chemin de fer est actuellement en construction. La ligne, à partir de la gare de Montreux, gravit les pentes du Cubly en formant plusieurs lacets et, après avoir franchi une distance de 11 km, atteint la station Les Avants à une altitude de 1 000 m. Ensuite

elle longe les versants abrupts de la Baye de Montreux et parvient par une altitude d'environ 1 130 m, au tunnel de Jaman, d'une longueur de 2 450 m. Au sortir de ce tunnel, la ligne descend à Montbovon, à une altitude de 800 m. Jusqu'à Montbovon, le trajet est de 22 km. De ce dernier point jusqu'à Zweisimmen, il reste encore une distance de 38 km à franchir. On espère que la section Les Avants-Montbovon sera mise en service au printemps de 1903 et que le reste de la ligne sera achevé, jusqu'à Zweisimmen, dans le cours de l'automne de la même année. Entre Montreux et Montbovon, la pente s'élève jusqu'à 6,7 p. 100; de Montbovon à Zweisimmen, elle ne dépasse point 4 p. 100. La voie mesure 1 m d'écartement; les rails pèsent 24,2 kg par mètre courant. Le matériel roulant comprend 11 voitures automotrices et 5 voitures d'attelage; chacun de ces véhicules contient 48 places assises. Toutes ces voitures sont éclairées et chauffées à l'électricité. On a prévu dans chaque sens 6 trains par jour en hiver et 10 en été, sans parler de plusieurs trains locaux organisés entre Montreux et Les Avants. Le courant électrique sera fourni, jusqu'à l'achèvement de l'usine centrale de Boltigen, par l'usine de Montbovon. A Boltigen on installe provisoirement 4 groupes hydraulico-électriques, chacun d'une puissance de 600 chevaux. C'est à Montbovon que se trouvera l'atelier central de réparations, avec deux autres ateliers de même genre, mais moins importants, à Montreux et à Zweisimmen. Le trajet de Montreux à Montbovon s'effectuera en une heure et demie, à une allure de 15 à 35 km à l'heure, et celui de Montbovon à Zweisimmen en 2 heures, à une allure de 18 à 35 km par heure. L'ensemble de l'installation entrainera une dépense de 13 000 000 fr : sur cette somme, on prévoit 600 000 fr pour l'usine centrale de Boltigen, 1 327 500 fr pour la canalisation et environ 500 000 fr. pour le matériel roulant. On compte pour la première année, sur une recette kilométrique de 13 000 fr, soit 824 000 fr au total, et l'on espère que cette recette pourra s'élever, au bout de dix années d'exploitation, à 1 100 000 fr. Ces chiffres font ressortir un revenu de 4 p. 100 sur le capital engagé dans l'entreprise.

Les chemins de fer électriques en Suède, *Elé*, XXIII, 40-41, 18 janvier 1902. — Dans cette note se trouvent indiquées les conclusions du rapport d'une commission nommée par le gouvernement suédois en vue de rechercher s'il conviendrait de substituer la traction électrique à la traction à vapeur sur les voies ferrées suédoises. Ces conclusions sont nettement favorables à cette substitution, la Suède étant obligée de faire venir de l'étranger presque tout le charbon qu'elle consomme, tandis qu'elle possède de nombreuses chutes d'eau inutilisées. La commission a indiqué celles de ces chutes qu'il conviendrait d'aménager; elle n'a considéré que celles qui en bas étiage, peuvent donner au moins 1 500 chevaux et qui sont situées assez près des voies ferrées pour permettre une transmission économique de l'énergie ; quelques chutes assez éloignées, mais très puissantes ont été aussi prises en considération. A la suite de ce rapport, le gouvernement suédois a décidé de hâter autant que possible l'achèvement des études préliminaires, afin de pouvoir saisir les Chambres de son projet lors de la prochaine session parlementaire.

Les automobiles électriques de l'Exposition de l'Automobile, du Cycle et des Sports, par E. H. *IE*, X, 562, 25 déc. 1901. — L'auteur donne quelques appréciations sur les progrès qu'a permis de constater cette Exposition dans la construction des automobiles électriques : les voitures électriques à accumulateurs ne présentaient pas de particularités bien saillantes. Les voi-

tures mixtes qui, outre une batterie, portent un groupe électrogène à moteur à essence étaient représentées par 5 véhicules de la Compagnie internationale des transports automobiles (qui construit les moteurs électriques Jenatzy). Un troisième et nouveau type de voitures électriques, était représenté par la voiture *électrogène* de M. de Champrabert dont l'équipement consiste en un groupe électrogène et un moteur électrique actionnant l'essieu ; l'ensemble formé par ce dernier moteur et la dynamo du groupe ne fait donc que remplacer les dispositifs de changements de vitesse des voitures à pétrole ordinaire. L'auteur fait remarquer que comme élasticité dans la transmission et économie dans la production de l'énergie, les voitures du second type (avec batterie tampon) sont préférables.

Télégraphie et Téléphonie.

Relais électrocapillaires Armstrong-Orling. *Elé*, XXIII, 25, 11 janv. 1902. — Ce relais, dont la description est empruntée à *Electrical Engineer*, est basé sur le principe de l'électromètre capillaire de Lippmann. Il est constitué par un tube en forme de siphon plongeant d'une part dans un récipient contenant du mercure, d'autre part dans un récipient contenant de l'acide sulfurique étendu. Quand on établit entre ces récipients une différence de potentiel de sens convenable, le mercure s'écoule par la pointe capillaire du tube plongeant dans l'acide étendu. Le jet de mercure agit sur l'extrémité d'un levier très sensible qui ferme un circuit local contenant une pile et un récepteur Morse. Les inventeurs préconisent l'emploi de cet appareil à la place du cohéreur dans les postes récepteurs de télégraphie sans fil.

Emploi d'une lampe à incandescence pour la démonstration des expériences de Hertz et de Marconi, par V. Bernaski. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXII, 50-52, 1900. Résumé dans *J. P.* [4], I, 46, janv. 1902. — Une petite lampe de 5 volts commence à émettre la lumière quand le cohéreur, devenu conducteur, fait agir le relai. Cet arrangement simple convient mieux pour un auditoire nombreux qu'un galvanomètre ou une autre sonnerie, dont le son est souvent rendu indistinct par le bruit de l'étincelle.

Eclairage.

Expériences sur l'oscillation de la lumière des lampes alimentées par des courants alternatifs, par J. Plotnikoff. *J. Soc. phy. chim. russe*, XXXIII, 61-65, 1901. Résumé, *J. P.* [4]. I, 54, janv. 1902. — L'oculaire d'un photomètre de Lummer et Brodhun a été muni d'un miroir incliné à 45°, de sorte que l'observateur pouvait placer son œil de côté. Le photomètre a été éclairé par une première lampe à incandescence, alimentée par des accumulateurs, et par une seconde alimentée par un courant alternatif. Le même courant mettant en mouvement un petit moteur synchrone, dont l'axe portait un cylindre muni d'une fente, recouvrant le miroir placé en face de l'oculaire. Grâce à cette disposition, l'œil de l'observateur recevait la lumière seulement pendant un moment, correspondant à une phase du courant que l'on pouvait changer à volonté. L'intensité d'une lampe à arc varie de 50 p. 100, et celle d'une lampe à incandescence de 6 à 7 p. 100, pendant une période du courant.

Les enseignes lumineuses électriques, par J.-A. Montpellier. *Elé*, XXIII, 1-5, 4 janv. 1902. — L'auteur décrit les dispositifs employés par la Société française d'électricité A E G : cadres, lampes, commutateurs automatiques, etc. — Pour obtenir, dans le cas des enseignes en caractères manuscrits, l'illusion que les lettres sont tracées comme par la main, les lampes doivent être allumées l'une après l'autre dans le sens que suivrait le tracé d'une plume et rester allumées jusqu'à ce que l'enseigne entière soit apparue. Deux dispositifs peuvent être employés dans ce but. Le premier consiste en un commutateur constitué par une plaque en ardoise portant autant de contacts qu'il y a de lampes, disposés circulairement et tous reliés au même conducteur de la canalisation ; au centre du cercle se trouve une manette qu'actionne un moteur électrique par l'intermédiaire d'un train d'engrenages réducteur de vitesse ; cette manette conductrice vient successivement toucher chacun des plots. A chaque plot est relié un relais qui produit la mise en circuit permanente de la lampe correspondante. Lorsque la manette a effectué une révolution, toutes les lampes (d'une même couleur, si l'enseigne peut être faite en plusieurs couleurs) éclairent l'inscription ; à ce moment un second commutateur à manette, actionné par le même moteur, coupe le courant, puis, s'il y a lieu, relie les plots aux lampes d'une autre couleur ; ce dispositif exige autant de conducteurs qu'il y a de lampes, plus un conducteur de retour commun. Le second dispositif a l'avantage de diminuer le nombre des conducteurs ; les lampes sont réparties en groupes, par exemple, 20 groupes de 10 lampes. Un premier commutateur tournant à 20 plots relie à un conducteur commun toutes les lampes du premier groupe ; un second, à 10 plots, solidaire du premier par un train d'engrenages, relie successivement les 10 lampes de ce groupe au second conducteur ; comme précédemment la mise en circuit se fait par l'intermédiaire de relais ; quand le second commutateur a fait un tour, le premier avance d'un plot et ce sont alors les lampes du second groupe qui sont successivement allumées, et ainsi de suite jusqu'à ce que toutes les lampes soient en circuit ; ce dispositif exige seulement $10 + 1 + 20 = 31$ conducteurs au lieu de 201 qu'exigerait le précédent. Les enseignes en caractères d'imprimerie, permettant de produire plusieurs inscriptions, sont formées de cadres dont les lampes sont disposées de telle sorte qu'un même cadre puisse produire une lettre quelconque au moyen de combinaisons de lampes en nombre égal au nombre de lettres que peut donner ce cadre. L'allumage de ces lampes est commandé par un appareil portant un clavier de machine à écrire.

Tome XXX — Samedi 1er Février 1902. — 9e Année — N° 5.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

Concours international de l'alcool en 1902. — Le succès obtenu par le Concours national de l'alcool en 1901, malgré la hâte de son organisation, a décidé le ministre de l'agriculture à en ouvrir, en mai prochain, un second, international celui-là.

Une exposition publique suivra ce concours, dont le Comité organisateur, ayant pour président le directeur de l'Agriculture, est divisé en trois sections :

1re section : Moteurs fixes, locomobiles, carburateurs. — MM. Michel Lévy, Bourdon, Hospitalier, Ringelmann, Sorel et Trillat.

2e section : Automobiles et bateaux. — MM. Rives, Hérisson, Loreau, de la Valette.

3e section : Eclairage et chauffage. — MM. Violle, Couderchon, Grouvelle, Lindet, Tisserand.

M. Famechon est commissaire du concours et secrétaire du Comité.

Le *Journal Officiel* du 9 janvier donne d'ailleurs le détail des subdivisions des différentes catégories, ainsi que les conditions générales du concours pour chaque classe d'appareils.

Les déclarations des constructeurs devront être parvenues au Ministère de l'Agriculture : 1° pour les moteurs fixes et locomobiles, le 1er mars ; 2° pour les automobiles et bateaux, ainsi que les appareils d'éclairage et de chauffage, le 15 mars.

L'exposition publique se tiendra à Paris du 24 mai au 1er juin. Y seront admis : tous les moteurs et appareils utilisant l'alcool dénaturé, ayant ou non pris part au concours ; les appareils producteurs d'alcool industriel, les récipients d'emmagasinage et de transport, les appareils actionnés par les moteurs exposés, les alcools dénaturés et leurs composés.

Les demandes des exposants seront reçues jusqu'au 15 avril.

Association française pour l'avancement des sciences. — Voici le programme des conférences qui seront faites en février et mars, les mardis à 8 heures et demie du soir, dans la grande salle de l'Hôtel des Sociétés savantes, 8, rue Danton :

4 février. — M. Paul Villard. Les rayons X et la radiographie, avec projections.

Mardi-Gras. — Pas de conférence.

18 février. — M. Brochet. L'Industrie électrochimique, avec projections.

25 février. — M. le Dr Frantz Glénard. Le vêtement féminin et l'hygiène, avec projections.

4 mars. — M. Henri Lecomte. Le caoutchouc, avec projections.

11 mars. — M. le professeur Edmond Perrier, de l'Institut. L'Instinct.

18 mars. — M. le professeur Gilbert. Aperçu sur l'Opothérapie.

Les projections seront faites par la maison Molteni-Radiguet.

Exposition d'Aix-en-Provence. — Une Exposition régionale, internationale et coloniale, sous les auspices de la municipalité, se tiendra du 27 avril au 28 juillet 1902 à Aix-en-Provence.

L'Exposition comprendra les produits du commerce, de l'industrie, de l'agriculture, de l'enseignement et des arts.

Elle sera instituée sur des terrains d'une superficie de 25 000 m² environ.

Les demandes d'admission sont reçues jusqu'au 17 mars 1902 au siège de l'administration, rue de l'Opéra, 9, Aix-en-Provence.

GÉNÉRATION

Combustion spontanée du charbon. — Sous ce titre, nous lisons dans la *Revue Industrielle* du 23 décembre :

Une Commission, nommée dans la Nouvelle-Galles du Sud, vient de déposer un rapport sur la combustion spontanée du charbon. Ce rapport débute en rappelant les conclusions de l'enquête faite, en 1896, par la Commission Royale et établissant que deux conditions favorisent la combustion spontanée du charbon, savoir : la présence d'une certaine quantité d'oxygène et la localisation suffisante de la chaleur développée par l'oxydation. Les conditions les plus favorables à l'échauffement se rencontrent lorsqu'on mélange du charbon en blocs moyens avec une certaine quantité de poussier. La Commission a reconnu que l'élévation de la température extérieure favorisait la combustion spontanée et que les pyrites n'exerçaient aucune influence à cet égard. Elle recommande seulement l'emploi de la ventilation superficielle.

La nouvelle enquête avait pour but spécial de déterminer l'influence de l'humidité au point de vue de la combustion spontanée. On a pris deux récipients cubiques, de 21 pieds (3m50) de côté ; puis, on les a remplis avec le même charbon, placé dans les mêmes conditions, sauf que l'un des récipients recevait du charbon sec, tandis que l'autre était arrosé constamment jusqu'à saturation complète. La quantité d'eau employée était suffisante pour amener un léger écoulement au bas du récipient, mais trop faible cependant pour entraîner le poussier. On avait placé 13 tubes de fer de 2 pouces (50 mm) disposés verticalement dans chaque récipient, pour effectuer des mesures thermométriques. Le remplissage a été fait le 2 décembre 1898 et l'on a relevé les températures à des intervalles réguliers. La température s'est élevée très rapidement dans le récipient sec, jusqu'au 13 février 1899 ; elle a été suffisante pour faire fondre les soudures du thermomètre à la profondeur de 8 pieds (2m40). A ce moment on a fait arriver l'eau d'extinction.

On a continué, jusqu'au 30 avril 1899, à observer le récipient mouillé, mais il n'a présenté aucun signe d'échauffement ; il y avait au contraire un abaissement continu de la température. La Commission recommande l'emploi d'un tuyau d'arrosage, lorsque le charbon est emmagasiné dans les cales de navires ou mis en tas dans les usines, par une température chaude. Il n'y aurait plus lieu, d'après elle, de croire que le charbon humide est plus dangereux que le charbon sec ; la combustion spontanée des tas de charbon peut être facilement combattue par l'arrosage de la même façon que les autres cas d'incendie.

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION

Fabrication des câbles pour distribution d'énergie. — A la dernière séance de la Société des Electriciens, M. Sartiaux président de la 4e section de la Société, a lu le rapport suivant qui sera discuté dans la prochaine séance.

Au nombre des études entreprises par la quatrième section, il en est une qui lui a paru pouvoir être immédiatement soumise à votre examen : ce sont les conditions techniques à déterminer pour la

fabrication et la réception des câbles utilisés dans les distributions d'énergie électrique.

La quatrième section n'a nullement l'intention de vous proposer de discuter le texte d'un véritable cahier des charges ; son but est plus modeste ; elle vient vous demander d'essayer de fixer, par quelques indications bien précises, certains points sur lesquels les industriels ont encore des opinions un peu variables, lorsqu'ils ont à commander ou à recevoir des câbles destinés à des installations de distribution d'énergie.

Avant d'arrêter les conclusions et les propositions que je vous lirai tout à l'heure, nous avons pris le soin de consulter un grand nombre d'ingénieurs et de constructeurs électriciens, à l'aide d'un questionnaire dont le texte a été soigneusement étudié et discuté.

Je ne peux mieux faire que de vous donner lecture de ce questionnaire et de vous résumer, au-dessous de chaque question, les réponses que nous avons reçues.

QUESTIONNAIRE TECHNIQUE

Première question. — Y a-t-il lieu de continuer à imposer des chiffres d'isolement, de résistance à la tension et autres, ou vaut-il mieux proposer aux constructeurs un programme général des conditions à remplir en leur indiquant :

a. La charge probable des lignes ;

b. La perte consentie dans l'isolant et dans les conducteurs

c. Le nombre et la répartition probable des transformateurs ;

d. Le voltage efficace ;

e. La forme de la courbe de la force électromotrice de l'alternateur ou la valeur maxima de cette force ;

f. La résistance et la self des alternateurs et des transformateurs ;

g. Le constructeur fabriquerait et essaierait les câbles à son gré et sous sa responsabilité.

Moyennant une allocation annuelle à débattre, il prendrait à sa charge toutes réparations ne provenant pas d'un accident mécanique ou chimique extérieur, et cela pendant une longue période : dix ans ou plus.

Réponse : Cette première question, toute de principe, est écartée d'une manière presque absolue. On tend, en effet, en général, à laisser au preneur le choix des valeurs de résistance, d'isolement et autres, sans communiquer au constructeur le programme des conditions à remplir.

Quant aux garanties de longue durée conjuguées avec une prime annuelle d'entretien, presque toutes les réponses en déclarent le principe inacceptable.

Deuxième question. — Si l'on conserve le système actuel de fixation par le preneur des câbles des chiffres d'essai, quelle valeur serait-il logique d'admettre pour l'isolement kilométrique minimum des câbles à haute, moyenne et basse tension ?

Réponse : Cette question donne lieu à la réponse, quelquefois répétée, que l'isolement kilométrique ne signifie rien, et que les câbles doivent être simplement vérifiés à la tension, autrement dit à la rupture du diélectrique.

On donne cependant, dans toutes les réponses, des valeurs de résistance d'isolement kilométrique en fonction des tensions de fonctionnement des réseaux.

Les différents chiffres donnés par les réponses sont contenus dans le tableau ci-dessous :

Tensions de fonctionnement. v	Résistances kilométriques ou mégohms.			
0		500		
200	300 Ω		700	
250				1 000
1 000		1 000		
2 400	3 000 Ω		3 000	
4 000		4 200		10 000
5 000			10 000	
10 000				

Comme on le voit, les tensions de base sont très différentes et la division en trois catégories principales : haute, moyenne et basse tension, n'apparait pas très bien.

En ce qui concerne les valeurs des résistances d'isolement que doivent avoir les câbles après pose, l'avis général est que la moitié de la résistance obtenue à l'usine satisferait largement.

Troisième question. — Le chiffre d'isolement doit-il être différent pour les câbles à courant continu et pour les câbles à courant alternatif dans les trois catégories de tension ci-dessus ?

Réponse : Les réponses sont presque toutes identiques et demandent les mêmes valeurs dans les deux cas. Il ne faut, en effet, considérer les mesures de résistance d'isolement que comme une vérification grossière destinée à révéler un défaut capital de fabrication ou de pose.

Ces mesures doivent être appuyées par des essais de résistance à la rupture du diélectrique pour lesquels les quatrième et cinquième questions demandaient à fixer les conditions.

Quatrième et cinquième questions. — Dans quelle proportion le voltage efficace de fonctionnement doit-il être majoré pour les essais à la tension à l'usine :

1° Pour les câbles torsadés. { *a.* Entre conducteurs. *b.* Entre conducteurs et armatures.
2° Pour les câbles concentriques. { *a.* Entre conducteurs. *b.* Entre conducteurs et armatures.

Ces essais de tension devront-ils être répétés après pose et dans quelles conditions de voltage et autres ?

Réponse : Les réponses portent sur deux points principaux :
1° Essais à l'usine.
2° Essais après pose.

Dans le premier cas, on adopte d'une façon générale, comme valeur de la tension alternative efficace appliquée aux câbles en essai, le double de la tension de fonctionnement.

Pour les essais après pose, les réponses diffèrent davantage. La tension alternative à appliquer aux câbles varie, en effet, depuis la tension de fonctionnement, légèrement majorée jusqu'au double de celle-ci. La valeur moyenne semble être cependant la tension de fonctionnement majorée de 50 p. 100.

Sixième et septième questions. — Y a-t-il lieu d'imposer une limite supérieure et une limite inférieure à la capacité ?

Y a-t-il lieu d'imposer un maximum d'impédance ?

Réponse : La plus grande incertitude règne en ce qui concerne la capacité et l'impédance qui font l'objet de ces deux questions.

Huitième question. — Comment tenir compte, pour les essais enfin de garantie, des branchements aboutissant aux appareils d'utilisation ?

Réponse : Cette question est également l'objet de réponses incertaines.

Neuvième question. — Doit-on, pour la distribution en monophasé, laisser aux constructeurs le choix entre

le câble concentrique et le câble torsadé, ou imposer ce dernier type ?

Réponse : Cette question est généralement résolue par le choix des câbles torsadés, de préférence aux concentriques.

A la suite de l'examen des réponses que vous venez d'entendre, la quatrième section vous propose de discuter en séance les conclusions et propositions suivantes :

« Les considérations d'ordre mécanique, ainsi que la composition des divers éléments d'un câble : nombre et nature des fils composant le ou les conducteurs, épaisseur et spécification des matières isolantes à employer, nature et dimensions des armatures, varient avec chaque cas particulier et suivant les conditions de fonctionnement et d'installation.

« Tous les points ci-dessus sont à régler d'accord avec le constructeur.

« Au point de vue électrique, les câbles doivent satisfaire à certaines conditions résumées ci-après :

« Les câbles, étant divisés en trois catégories principales suivant la tension de fonctionnement, doivent avoir un isolement kilométrique minimum de :

700 mégohms	jusqu'à	1 000 volts.		
3 000	»	»	4 000	»
6 000	»	»	10 000	»

« Après pose, les résistances d'isolement des câbles, y compris les raccords, doivent être au minimum le tiers des valeurs ci-dessus.

« En dehors des mesures de résistance d'isolement kilométrique, il y a lieu de demander au constructeur des essais de résistance à la rupture du diélectrique, soit à l'usine, soit après pose.

« Dans le premier cas, on adoptera une tension alternative efficace double de la tension de fonctionnement à l'usine.

« Cette tension sera aussi bien appliquée entre conducteurs qu'entre conducteurs et armatures.

« Pour les essais après pose, on adoptera une tension alternative efficace qui sera la tension de service majorée de 25 p. 100.

« Les indications qui précèdent s'entendent à la fois pour installations à courant continu et alternatif. »

TRACTION

Prolongement de la ligne Pennsylvania Railroad, dans New-York. — La Compagnie des chemins de fer de Pennsylvanie et celle des chemins de fer de Long Island, qui ont actuellement leurs gares terminus en dehors de l'agglomération new-yorkaise, viennent de demander l'autorisation de prolonger leurs voies en tunnel, à l'exemple de ce qu'a fait à Paris la Compagnie d'Orléans. L'*Electrical World and Engineer* du 21 décembre, où nous puisons cette information donne quelques renseignements sur le projet adopté, projet qui prévoit l'emploi de la traction par locomotives électriques.

La nouvelle gare terminus, située entre les 32e et 33e rues et les 7e et 9e avenues, aura ses voies (au nombre de 20 au moins) à 12 m au-dessous du sol; un plan incliné et des ascenseurs la desserviront. Pour la relier au terminus actuel de la Pennsylvanie Railroad Company, il faudra traverser la rivière Hudson. Cette traversée, qui constitue la partie intéressante du projet, s'effectuera au moyen de deux « ponts » souterrains solidement assis sur des piles reposant sur le terrain solide situé au-dessous du lit de la rivière; ces ponts (si toutefois l'on peut donner ce nom à un ouvrage souterrain) seront entourés chacun d'un tube en acier parfaitement étanche. Ces tubes, qui au milieu de l'Hudson river, seront à 30 m au-dessous du niveau de l'eau, auront une pente d'environ 1,5 p. 100 du côté de New-York. Il n'est prévu aucune disposition spéciale pour l'aération de ces tunnels tubulaires ; le mouvement même des trains, formant piston, suffira pour l'assurer. Ils seront éclairés à la lumière électrique. L'énergie nécessaire à l'éclairage et à la traction sera fournie par une usine érigée à New Jersey, les facilités d'approvisionnement y étant plus grande qu'à New-York. La durée des travaux est évaluée à trois ans.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 11 janvier, p. XXI.

Théorie.

Procédé pour rendre visibles les déformations d'un courant alternatif, par R. Weber, *DA*, VI, 565-570, nov. 1901. — On fait passer le courant dans la bobine d'un électro-aimant rectiligne : l'une des extrémités du noyau de cet électro-aimant est prolongée par un barreau d'acier de manière à le polariser. Devant l'autre extrémité est disposée une capsule analogue aux capsules de König. La membrane de cette capsule est une feuille de papier collée entre deux anneaux de bois ; elle est placée perpendiculairement à l'axe du noyau et porte en son centre, en face du noyau, un petit cylindre de fer doux. Comme dans les expériences de König, on observe dans un miroir tournant la flamme d'un petit bec de gaz alimenté par l'intermédiaire de la capsule. M. L.

Sur la polarisation du magnésium en solution alcaline, par A. Campetti. *R. Acc. di Torino*, fév. 1901 ; *N C* [5], 268-271, oct. 1901. — Le magnésium, employé comme anode dans une solution de soude ou de potasse présente des phénomènes analogues à ceux de l'aluminium. L'auteur s'est servi d'une cathode en platine de 6 cm² et d'une anode en magnésium de 40 mm² avec des solutions de soude de densité 1,064 et 1,22 et avec la potasse.

Avec la première solution, la résistance du liquide était de 2,1 ohms ; désignant par V la différence de potentiel en volts aux bornes et par I l'intensité du courant en ampères, les résultats obtenus ont été les suivants :

V.	9,8	18,5	39	60	75
I	0,019	0,024	0,029	0,033	0,036

Au-dessus de 75 volts, on observe le dégagement gazeux et l'intensité augmente notablement. Ce fait montre que la résistance au passage du courant n'est due que partiellement à une force électromotrice de polarisation tandis que la plus grande partie est due à une résistance de passage à la surface de l'anode de magnésium.

Pour étudier si en cas d'un courant alternatif la résistance de passage s'établit assez rapidement pour que le voltamètre ne soit sensiblement traversé que par le courant direct du platine au magnésium, l'auteur a employé un inverseur tournant qui lui permettait d'obtenir environ 30 inversions par seconde. Dans le circuit était inséré

un ampèremètre à courant continu et un ampèremètre thermique; désignons par *a* le courant direct et par *b* le courant inverse, les résultats obtenus avec la première sont les suivants :

V. . . .	18,5	39	51	60
a. . . .	2,60	2,41	1,71	1,39
b	0,07	0,05	0,07	0.04

L'auteur examine la valeur de la perte d'énergie due à la production de chaleur dans le voltamètre : une partie de la chaleur développée est due à l'effet Joule et se déduit aisément de la résistance du liquide, l'autre se déduit par différence de la chaleur totale que l'on obtient en prenant le voltamètre comme calorimètre.

Il résulte des expériences que, dans les meilleures conditions, il n'y a pas plus de 10 à 15 p. 100 de l'énergie totale qui soit consommée dans le voltamètre indépendamment de la chaleur due à la résistance même du liquide ; cette dernière quantité peut d'ailleurs être rendue aussi très petite en élevant la conductibilité de la solution. G. G.

Sur les tensions dans l'intérieur d'un fluide polarisé magnétiquement ou diélectriquement, par L. Giuganino. *N C* [5], II, 20, juillet 1901. — La théorie de Maxwell, suivant laquelle les phénomènes électriques et magnétiques sont expliqués par le moyen de tensions ou de pressions élastiques d'un fluide qui entoure les corps électrisés ou aimantés et est le siège de l'énergie électrique ou magnétique, a donné lieu à diverses critiques. L'auteur se propose d'examiner divers points de cette théorie qui fut développée par Helmholtz et par Duhem et modifie quelques-uns des points les plus importants; il suit de près l'exposition de Duhem comme la plus générale et ne s'occupe pour abréger que des fluides polarisés magnétiquement.

En résumé Giuganino conclut que :

1° Si le corps polarisé est compressible et porte seulement des charges électriques ou magnétiques induites et si on peut le considérer comme un fluide parfait, il n'est pas possible de trouver un système de forces élastiques équivalent à la polarisation donnée;

2° Si le corps polarisé est considéré comme un fluide imparfait, il existe une infinité de systèmes de tensions et de pressions équivalents à la polarisation;

3° L'expression de ces tensions et de ces pressions ne peut se réduire à celle de Maxwell et de Helmholtz.

On doit noter que même en supposant le fluide homogène, la pression exercée sur un élément superficiel n'est pas indépendante de son orientation, elle varie suivant l'inclinaison de celui-ci sur les lignes de force. On peut donc admettre que l'élasticité du fluide prend par polarisation des valeurs diverses suivant les lignes de force et suivant les directions perpendiculaires. La surface d'élasticité est alors un ellipsoïde de révolution autour de la direction des lignes de force.

Alors le fluide polarisé se comporte comme un cristal uni-axe, ce qui rend compte du phénomène de Kerr dans les diélectriques.

Il est plus difficile d'expliquer la polarisation rotatoire électromagnétique, mais on doit observer que l'on n'a considéré que des fluides parfaits qui n'existent pas dans la nature. G. G.

Energie dissipée dans le fer par suite de l'hystérésis, par H. Maurach. *D A*, VI, 580-590, nov. 1901. — L'auteur a déterminé par la méthode balistique les cycles d'aimantation du noyau d'un transformateur pour des champs compris entre 0,2 et 27,78 unités.

Si on veut représenter exactement la dissipation d'énergie par la formule de Steinmetz :

$$V = \gamma M_1^x$$

où M_1 est le moment maximum atteint par le fer, l'exposant x n'est pas indépendant du champ : il serait représenté par :

$$x = \frac{a}{1 + bH + cH^2}$$

a, b, c étant des coefficients variables avec la nature du métal, mais indépendants de H. M. L.

Dispersion rotatoire magnétique des vapeurs de sodium à l'intérieur de la raie d'absorption, par O. M. Corbino. *Rend. d. Lincei*, X, 137, 15 septembre 1901. — Un faisceau parallèle de rayons solaires traverse un nicol, puis un électro-aimant de Weiss creusé suivant l'axe et ayant entre ses pôles une flamme de Bunsen fortement colorée par une perle de bromure de sodium ; le faisceau traverse ensuite un triprisme de quartz de Fresnel ayant ses arêtes horizontales puis un analysateur. On examine le second spectre produit par un réseau de Rowland, quand l'électro n'est pas excité. Ce spectre est sillonné de franges horizontales produites par le parallélipipède (franges de Billet). Le triprisme produit en effet aux différents points d'une ligne verticale des rotations lentement croissantes, de manière à avoir une augmentation de la rotation de 180° dans l'intervalle de deux franges noires consécutives. On peut avoir dans le champ de l'oculaire très nettement les franges horizontales et les raies de Fraunhofer. Les raies d'absorption du sodium sont très larges.

Si on excite le champ, les franges horizontales s'infléchissent fortement dans le voisinage des raies D et dans le même sens. L'inflexion change de sens si on inverse le champ. Ce phénomène résulte du fort pouvoir rotatoire des vapeurs métalliques au voisinage des raies d'absorption (Macaluso et Corbino, *C. R.*, t. CXXVII, 548, 17 octobre et 951, 5 décembre 1898. *L'Ecl. Elect.* t. XVII, 254 et 536, 1898). Les courbes auxquelles donnent lieu les franges indiquent la rotation du plan de polarisation en fonction de la longueur d'onde, l'intervalle de deux franges représentant une rotation de 180°.

Cette disposition peut servir à étudier la rotation à l'intérieur de la large raie d'absorption, parce qu'on distingue dans la faible lumière résiduelle encore nettement les franges.

En excitant le champ, les franges pâles qui sont à l'intérieur des raies restent rectilignes et horizontales, excepté sur les bords de la bande où elles disparaissent; elles ne se déplacent guère que d'un dixième de frange et cela dans le même sens que en dehors de la raie, de sorte que la rotation y existant serait inférieure à 18°. Ce résultat est d'un grand intérêt parce qu'il est en contradiction avec celui que permet de prévoir la théorie : les franges devraient se déplacer en sens opposé. G. G.

Contribution à la théorie des électrons appliquée aux phénomènes lumineux, par H. Voigt. *D. A.*, VI, 459-606, nov. 1901. — Dans ce mémoire, l'auteur calcule, d'après la théorie des électrons (Cf. Drude, *L'Ecl. Elect.*, XXIII, 348, juin 1900; XXVI, 372, mars 1901), les variations que doivent éprouver les propriétés optiques des substances pondérables sous l'influence des déformations mécaniques et thermiques.

Si on considère une région du spectre où l'absorption est négligeable et qu'on compare les résultats obtenus aux données expérimentales, on arrive aux conclusions suivantes :

Dans les liquides les forces électriques auxquelles sont soumis les électrons diminuent, en moyenne, quand on comprime le liquide : la stabilité du mouvement des électrons autour de leur position d'équilibre devient plus petite : une élévation de température sous pression constante produit l'effet inverse. Pour les gaz, les données expérimentales sont encore trop incomplètes pour qu'on puisse donner une conclusion définitive.

Dans les solides, il semble qu'une compression uniforme augmente la stabilité du mouvement des électrons.

Si on considère une région spectrale voisine d'une bande d'absorption, les formules deviennent encore plus compliquées.

S'il existe plusieurs espèces d'électrons, chacune donnant naissance à une bande étroite de faible absorption et si ces bandes sont assez éloignées l'une de l'autre, elles conservent invariables leur position et leur largeur, si les différents électrons n'exercent l'un sur l'autre

aucune action sensible et si les différentes espèces agissent toutes simultanément.

Dans un milieu qui présente une seule bande d'absorption, l'étude de l'indice n dans une région du spectre où il n'y a pas absorption permet de déterminer quel sera le déplacement de la bande sous l'influence d'une dilatation. M. L.

Effets des rayons Becquerel sur les bactéries, par E. Ashkinass et W. Caspari. *D. A.*, VI, 570-580, nov. 1901. — Les rayons de Becquerel empêchent le développement de certaines bactéries tout comme le font les rayons solaires.

MM. Ashkinass et Caspari ont constaté cette action en exposant au rayonnement du bromure de baryum radifère des cultures de micrococcus prodigiosus. Cette action appartient aux radiations les plus absorbables, car elle est arrêtée par une feuille d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur et est encore très nette si la feuille d'aluminium n'a que 0,001 mm : elle cesse aussi de se produire si le corps radifère est séparé de la culture par une épaisseur d'air de plus de 6 cm. Ces propriétés s'accordent avec celles que M. et Mme Curie ont reconnues par les méthodes physiques. M. L.

Génération et Transformation.

Aménagement des foyers de chaudières pour la prévention de la fumée, *A. E.*, XIV, 10, janv. 1902.— Dans cette courte note est signalée une modification qui a permis à M. R.-B. Holbrook, ingénieur en chef d'une compagnie américaine, d'obtenir non seulement la suppression de la fumée, mais encore une augmentation de la puissance de vaporisation d'une chaudière horizontale. La modification apportée à la chaudière consiste en ceci : à 35 cm en arrière de l'autel on a construit une voûte descendant suffisamment pour forcer le courant des gaz chauds à se diriger vers le bas, puis à quelque distance au delà de cette voûte on a construit un second autel forçant les gaz à revenir vers le haut au contact de la chaudière. Il résulte de cette disposition un brassage énergique des gaz et de l'air, ce dernier étant introduit, comme à l'ordinaire, par les trous de la plaque perforée du foyer. Pour éviter qu'au moment du chargement du charbon il y ait un refroidissement capable d'empêcher la combustion du mélange, on ne charge chaque fois que la moitié de la grille, le charbon incandescent de l'autre moitié maintenant la température nécessaire à la combustion du mélange. On est ainsi parvenu à obtenir une combustion très complète, sans production de fumée et permettant de vaporiser une plus grande quantité d'eau par heure.

Applications industrielles de la turbine Parsons, par M. Duchanoy. *G. C.* XL, p. 121-126, 21 déc. 1901. — L'auteur décrit sommairement l'installation d'Elberfeld dont les turbo-alternateurs ont donné de si beaux résultats au point de vue de la consommation de vapeur (8,63 kg par kw-h. pour une charge de 1200 kw). Il rappelle ensuite les résultats d'essais faits aux usines électriques de Cambridge et de Newcastle et signale quelques applications industrielles non électriques. Il passe alors à l'application des turbines à la propulsion des navires (Turbinia, Viper, Cobra, King-Edward) et s'étend sur les avantages qui en résultent au point de vue de la légèreté relative de la machinerie.

Pulvérisation et combustion du charbon en poudre. *G. C.* XL, 224, 25 janv. 1902. — *L'Engineering News*, du 28 décembre, donne la description de deux appareils employés récemment en Amérique pour pulvériser le charbon afin de pouvoir le brûler en poudre : le pulvérisateur Cyclone, de fabrication anglaise, et l'Aéro-Pulvérisateur, de marque américaine. — Le système de pulvérisateur Cyclone comporte deux appareils : le pulvérisateur proprement dit et l'appareil d'alimentation des foyers de combustion. — Les morceaux de charbon, chargés dans une trémie latérale, tombent sur une roue à aubes en acier tournant dans une caisse cylindrique dont la surface intérieure est dentelée. Le diamètre de la roue est de 80 cm et la vitesse à la circonférence varie de 75 à 100 m à la seconde. Un ventilateur, placé au-dessus de la roue, enlève la poussière de charbon et l'envoie dans un collecteur. — L'appareil d'alimentation est formé par un ventilateur centrifuge, surmonté d'une trémie de chargement fermée à la partie inférieure par un cylindre canelé qui règle l'admission de la poussière de charbon. Par l'intermédiaire de conduites, le ventilateur la distribue aux foyers sous forme d'un nuage épais. — Des expériences faites en Allemagne ont montré qu'avec ce système on pouvait employer du charbon contenant jusqu'à 40 p. 100 de cendres. Une autre série d'expériences, faites en employant du charbon pulvérisé dans le foyer d'une chaudière de 45 m² de surface de chauffe, a donné une augmentation du rendement de 20 p. 100.

Dans le système de l'Aéro-Pulvérisateur, la pulvérisation et l'alimentation sont produites par la même machine. Dans son ensemble, l'appareil est fermé par trois chambres communiquantes dont les diamètres vont en augmentant et dans lesquelles tournent des palettes en acier. A l'extrémité, un ventilateur fait passer la poussière d'une chambre dans l'autre et la distribue aux foyers. L'air arrive dans l'appareil par deux ouvertures de diamètre variable et se rend, soit dans le pulvérisateur, soit dans une chambre auxiliaire qui tient en réserve la quantité d'air nécessaire à la combustion. — Si le charbon est humide, le rendement de l'appareil est considérablement diminué. Pour un charbon sec on obtient 90 à 95 p. 100 de poussière impalpable,

Machine à gaz de hauts fourneaux de la Maschinenbau Actiengesellschaft, de Prague. *Bull. Soc. Ing. civ.*, 1901, p. 981, déc., d'après *Iron Age*. — L'initiative de l'introduction des moteurs à gaz de hauts fourneaux, en Autriche, est due à la Compagnie minière de Bohême, à Vienne, qui a installé un moteur de ce genre, de 300 chevaux, dans ses usines de Königshoff, en Bohême. Cette machine a été construite par la Maschinenbau Actiengesellschaft, de Prague, qui, en participation avec la Société Cockerill, de Seraing, a entrepris la fabrication des moteurs à gaz du type Delamarre-Deboutteville.

La machine dont nous nous occupons présente cette particularité intéressante que c'est le premier moteur à gaz de haut fourneau du type tandem. Il possède deux cylindres à gaz, placés l'un derrière l'autre, les diamètres sont de 700 mm et la course de 800 mm. Le piston du cylindre antérieur reçoit l'attache de la bielle motrice et est réuni avec l'autre piston par une tige commune. Les presse-étoupes, par lesquels passe cette tige, ne donnent lieu à aucune difficulté. Le nombre de tours est de 150 par minute, ce qui correspond à une vitesse de piston de 4 m par seconde.

Malgré cette vitesse élevée et ce nombre de tours considérable, le fonctionnement est très régulier et très doux et n'ébranle nullement les fondations.

La disposition tandem adoptée présente, sur les arrangements où les deux cylindres sont l'un en face de l'autre avec une bielle motrice pour chacun, les avantages d'une plus grande simplicité et d'une régularité plus parfaite dans le mouvement. Ce dernier tient à ce que les efforts moteurs, au nombre de deux pour chaque deux tours, sont distribués plus uniformément dans la disposition tandem, alors qu'avec les cylindres vis-à-vis, il y a deux courses utiles se suivant immédiatement et deux courses sans effort moteur après. Avec la machine tandem, on peut donc avoir un volant moins lourd.

Les cylindres, les boîtes à soupapes et les soupapes elles-mêmes sont rafraîchies par une circulation d'eau, de plus, les pistons présentent la même disposition ; l'eau est introduite dans leur intérieur par un tube mobile sous une pression en rapport avec la vitesse de ces organes. La marche du moteur est contrôlée par une cataracte à air très sensible qui permet de régler le nombre de tours au degré voulu.

Le volant a 4,25 m de diamètre et pèse 22 tonnes. Le moteur est accouplé directement à une dynamo à courant continu de 300 chevaux sous 120 volts, qui alimente l'éclairage et une distribution de force. Le gaz de haut fourneau employé a un pouvoir calorifique, mesuré au calorimètre de Junker, de 800 calories par mètre cube.

L'analyse donne la composition suivante : acide carbonique, 13 p. 100 ; oxyde de carbone, 25,1 ; hydrogène, 1,9 et azote, 60 p. 100. Ces gaz, à la sortie du conduit de prise, contiennent environ 2 g par mètre cube de poussières, mais, après avoir passé par des appareils de refroidissement et de nettoyage, la proportion de poussières est réduite à 0,6 g par mètre cube, ce qui, pendant une marche de deux mois, est insuffisant pour nécessiter aucun nettoyage des cylindres.

L'allumage se fait par l'étincelle électrique produite par une bobine de Rhumkorff. La mise en train se fait très simplement par l'aspiration et la compression dans les cylindres d'une petite quantité de benzine enflammée en temps utile par l'étincelle électrique.

Les usines de Königshof ont installé, au printemps de cette année, une machine soufflante à moteur à gaz de haut fourneau construite par la Maschinenbau, de Prague.

Cette machine est du même modèle que celle exposée l'année dernière, à Paris, par la Société Cockerill, mais le cylindre soufflant porte des soupapes Stampf pour le refoulement et des soupapes Corliss pour l'aspiration.

Ce type de machine est simple de construction et suffisant pour des volumes de 50 à 600 m³. Si on a besoin d'une quantité d'air supérieure, on accouple deux machines de ce modèle.

Les usines de Kladno, en Autriche, ont également commandé aux mêmes constructeurs un double moteur tandem de 600 chevaux. Il se compose de deux moteurs semblables à celui qui a été décrit plus haut, accouplés avec les manivelles à 180° ; comme il y a quatre cylindres, on a une explosion pour chaque demi-tour et une régularité très satisfaisante ; cette machine est destinée à commander une dynamo à courant alternatif.

Expériences sur les variations périodiques se produisant dans le courant d'excitation d'un alternateur, par W. Duddell et E.-W. Marchant. *El*, XLVIII, 302-304, 13 déc. 1901. — Dans cet article, les auteurs arrivent aux conclusions suivantes : dans tout alternateur dont la rotation de la partie mobile fait varier le nombre de lignes de force traversant les bobines de champ, il est induit dans celles-ci une force électromotrice périodique qui cause une variation périodique dans le courant d'excitation et cet effet peut être très important dans le cas d'alternateurs-inducteurs. Le courant d'excitation peut être considéré comme formé de deux parties, un courant constant et un courant alternatif superposé ayant une fréquence double de celle de la force électromotrice d'armature. Le courant alternatif superposé n'est pas symétrique. L'amplitude de ce courant est, par suite de la grande self-induction des bobines de champ, presque indépendante de la résistance du circuit d'excitation. Quand la machine est en circuit ouvert, la valeur maximum du courant d'excitation se produit à très peu près à l'instant où la force électromotrice d'armature a sa plus grande valeur positive ou négative ; l'amplitude de l'onde du courant d'excitation est alors approximativement proportionnelle à l'amplitude de la force électromotrice d'armature pour une vitesse constante ; cette amplitude du courant d'excitation est pratiquement indépendante de la vitesse pour une valeur moyenne du courant d'excitation. L'amplitude du courant alternatif superposé est réduite quand la machine fonctionne sous charge et devient très petite quand la machine est en court-circuit. Ces variations dans le courant d'excitation tendent à réduire le rendement de la machine par pertes par hystérésis et courants de Foucault. La force électromotrice induite dans l'enroulement d'excitation peut, dans certaines conditions, compromettre son isolement et produire des effets perturbateurs dans les appareils alimentés par la même source que l'enroulement d'excitation, principalement si un de ces appareils se comporte comme un condensateur.

Ateliers de la Stanley Electric Manufacturing C°. E R N Y, XXXIX, 541-546, 2 nov. 1901. — Cette Compagnie, qui construit du matériel électrique, vient d'installer de nouveaux ateliers à une petite distance de Pittsfield (Massachusets). La travée principale est desservie par un pont roulant de 30 tonnes et un de 5 tonnes. L'atelier d'outillage, l'atelier des tôles et l'atelier d'enroulement n'ont rien de particulier. Les bobines enroulées passent dans un atelier spécial, où elles sont mécaniquement recouvertes de ruban isolant, à sec. Elles sont ensuite transportées à un autre atelier, où elles sont plongées dans une composition isolante : on fait d'abord le vide pour expulser l'air, puis on soumet à la pression pour forcer l'isolant à pénétrer dans tous les pores. Les bobines destinées aux transformateurs à huile ne sont naturellement pas soumises à cette opération. La force motrice est distribuée électriquement aux divers points des ateliers, par courants diphasés, et au moyen d'un système intéressant, par le fait que les variations de vitesse sont obtenues par variation de fréquence, la station renfermant à cet effet plusieurs génératrices à différentes fréquences. Les petites pièces sont fabriquées dans des ateliers contigus à la travée principale, et viennent, au fur et à mesure de leur achèvement, se rassembler dans celle-ci. Les machines-outils y sont d'ailleurs disposées de façon que, les grosses pièces brutes arrivant à une des extrémités, la machine en construction se déplace peu à peu vers l'autre extrémité, au fur et à mesure de son achèvement.

Usine génératrice à vapeur de Kings County à Brooklyn (Etats-Unis). *G C*, XL, 184, 11 janv. 1902, d'après *Electrical Review*. — L'Edison Illuminating C°, de Brooklyn, exploite un réseau très étendu, qui est alimenté à haute tension par courants polyphasés. Des sous-stations transforment ce courant suivant les besoins. Les stations qui fournissent le courant triphasé primaire à 6 600 volts et 25 périodes, sont au nombre de deux ; l'*Electrical Review*, du 17 août, décrit l'une de ces stations, celle de Kings County.

La construction est divisée en deux parties par une forte muraille en matériaux réfractaires, les chaudières et la provision de charbon occupant une de ces divisions. Le combustible, composé de cinq parties d'anthracite et de une partie de poussier de charbon de Virginie, est élevé à la partie supérieure de l'édifice où des broyeurs le réduisent en morceaux n'excédant pas 75 mm. On le charge ensuite dans des wagonnets, qu'on pèse et qui s'en vont, par la gravité, se déverser dans des poches au-dessus des chaudières. Ces poches contiennent 4 000 tonnes de combustible. Elles le laissent écouler au fur et à mesure des besoins et après un second passage, dans des conduites qui l'amènent à portée des chauffeurs. Il y a six chaudières de 500 chevaux, l'eau d'alimentation est réchauffée par l'échappement des pompes ; l'eau de condensation est rejetée à la rivière. La cheminée en brique, de 60 m de hauteur, a 7,50 m de diamètre extérieur à la base, et 3,95 m de diamètre intérieur au sommet. Elle est pourvue de contreforts intérieurs, entre les deux murailles.

La salle des machines comprend actuellement quatre groupes Allis-Westinghouse, de 750 kilowatts à 93 tours, 32 pôles, inducteur tournant, excitation à 125 volts par groupes électrogènes de 80 kilowatts de 115 chevaux à 275 tours. Tous les circuits à haute tension et les appareils de contrôle se trouvent dans un sous-sol séparé par un grillage métallique.

Transmission et distribution.

Projet d'installations hydro-électriques pour Saint-Pétersbourg, *Bul. Soc. Ing. civ.*, 1901, p. 979, décemb. — Analyse d'un mémoire de M. Dobrotvorsky, ingénieur à Saint-Pétersbourg, publié dans *Engineering News*. Cette analyse donne les renseignements suivants :

Le projet consiste dans l'établissement de trois stations centrales hydrauliques de 28 000 à 38 000 chevaux chacune sur trois grandes rivières, dans la transmission de la puissance à Saint-Pétersbourg par des lignes à haute tension sur des distances de 110 à 170 km, dans l'installation de stations de transformation et de distribution du courant dans la ville, enfin dans des améliorations de la navigation dans les rivières précitées.

Il faut dire, tout d'abord, que Saint Pétersbourg est placé d'une manière très favorable au point de vue de

l'installation de forces hydrauliques importantes. Trois lacs, le lac Saïma, au nord, le lac Peipus, au sud-ouest et le lac Ilmen, au sud-ouest, servent chacun d'exutoire à une surface d'environ 80 000 km² et se vident à la mer par des cours d'eau à pente considérable, les rivières Vuoksa, Narova et Volkhov, lesquelles, à des distances de 110 à 160 km de Saint-Pétersbourg, possèdent de grandes facilités pour l'installation de forces hydrauliques.

Aux rapides du Volkhov, à 110 km de la capitale, le projet prévoit l'établissement d'un barrage en maçonnerie, créant une chute de 11,50 m et une puissance de 38 000 chevaux. Cette chute d'eau sera utilisée par 18 turbines, dont chacune actionnera 3 dynamos (total 54) de 500 kilowatts ; l'énergie produite sera conduite à Saint-Pétersbourg par deux lignes de conducteurs en cuivre, au nombre de six pour chacune, d'une section totale de 5,5 cm² par ligne. Le barrage sera d'un modèle spécial avec des hausses mobiles pour faciliter l'écoulement des eaux provenant des crues et des glaces, et des écluses pour la navigation, laquelle est actuellement incertaine et dangereuse. On établira ainsi une communication fluviale commode avec les lacs Onega et Ladoga et, par là, avec les riches bassins minéraux d'Olonetz, ce qui amènera dans ces localités l'établissement d'industries importantes. On se propose, en même temps, d'installer la traction électrique sur les canaux du Ladoga, près desquels doivent passer les lignes de conducteurs.

La rivière Narova présente une série de rapides et une chute près de la ville de Narva, située à 140 km de Saint-Pétersbourg, sur le golfe de Finlande et sur la ligne des chemins de fer de la Baltique. Les installations de force motrice présentent une grande analogie avec celles de la rivière précédente, mais l'existence de quelques usines sur la chute ne permettra d'utiliser qu'une dénivellation de 10,50 m environ au lieu de 12 m, ce qui réduira la puissance disponible de 50 000 à 28 000 chevaux. La transmission du courant se fera par deux lignes à quatre conducteurs, d'une section totale de 4,5 cm² de section par ligne. On peut prévoir un développement industriel considérable à Narva et dans les parties voisines de l'extrémité du lac Peipus.

Sur la Vuoksa, les rapides et la chute, à Imatra, se trouvent à une distance de 170 km de Saint-Pétersbourg. A cause de la hauteur de la différence de niveau, les travaux hydrauliques ne présenteront pas la même disposition que les précédents. On se propose d'exécuter un canal de dérivation détournant un quart environ du volume d'eau passant actuellement par la chute, et d'y établir une chute artificielle donnant 38 000 chevaux. Les appareils hydrauliques seront du même tyde que les autres installations, et la ligne, qui sera la plus longue de toutes sera formée d'une double ligne de trois conducteurs de 7 cm² de section totale pour chacune.

Le système de distribution en ville comprendra huit réseaux, d'un développement total de 180 km pour chacun. On pourra peut-être utiliser quelques-uns des réseaux de distribution actuels. On prévoit les consommations suivantes peu après l'achèvement des travaux :

300 000 lampes à incandescence consommant	16 800 kilowatts.
4 000 lampes à arc consommant.	3 200 «
Traction sur les tramways. . .	3 600 »
Emplois divers de force motrice.	25 000 »
Total.	48 600 kilowatts.

L'éclairage public sera assuré gratuitement pour les rues et les services municipaux, et on a calculé qu'on pourra fournir l'électricité aux particuliers à un prix qui ne dépassera pas la moitié des prix actuels.

Les installations sont prévues pour un chiffre de 66 000 chevaux délivrés aux transformateurs, ce qui fait une moyenne de 1 800 chevaux par km² de superficie de la ville. Les trois sources d'électricité sont indépendantes, de sorte qu'on n'aura jamais une interruption complète. On prévoit, d'ailleurs, une extension possible par l'exécution de travaux ultérieurs pour le relèvement du niveau des lacs.

Le coût de l'entreprise est évalué à 70 millions de francs. La concession a déjà été accordée par le Gouvernement à une Compagnie qui s'est formée pour l'exécution du projet.

Actuellement, Saint-Pétersbourg est éclairé par dix stations centrales et il y a, en outre, 250 installations particulières d'éclairage. La capacité totale de ces installations est d'environ 50 000 chevaux alimentant 450 000 lampes à incandescence et 3 500 lampes à arc.

Avec les longues soirées d'hiver qu'amène la situation

septentrionale de la capitale, la consommation d'éclairage est considérable et constante. Les tramways électriques, déjà très développés, absorbent également une large quantité de courant.

La distance à laquelle le courant doit être transmis est considérable, mais il faut dire, d'autre part, que l'électricité est actuellement fournie par des machines à vapeur brûlant du charbon importé d'Angleterre à grands frais, et qu'un projet ayant pour but de remplacer ces moteurs continus par des forces hydrauliques est évidemment très séduisant.

Indicateur de terre, par T.-W. Varley, *Élé*, XXIII, 51-54, 25 janv. 1902. Dans cet article, traduit de *E.-W.*, l'auteur commence par faire observer que les indicateurs de terre ordinaires ne sont que des indicateurs d'équilibre qui ne peuvent déceler une perte à la terre dans le cas où une perte égale se produit sur les deux conducteurs du réseau. Ces indicateurs sont en effet ordinairement constitués par un groupe de 2 n lampes mis en dérivation entre deux conducteurs et dont le milieu est relié au sol ; tant que les deux conducteurs offriront la même résistance par rapport à la terre, les lampes éclaireront également, quelle que soit la valeur de cette résistance.

Cet inconvénient est évité dans le nouvel indicateur ; l'auteur donne la description de la manière dont un indicateur de ce genre a été installé dans une station produisant des courants alternatifs à 3 000 volts ; en voici un résumé :

L'appareil consiste en un relais de 150 ohms de résistance en série avec une résistance de 10 000 ohms ; ce circuit est connecté d'une part à la terre, d'autre part à la barre négative du circuit d'excitation des alternateurs. Cette même barre est connectée à l'un quelconque des feeders de distribution à 3 000 volts par une bobine de réactance de 490 ohms et une fiche mobile que nous appellerons P. Enfin la barre négative du circuit d'excitation est reliée au sol par un groupe de lampes. On règle le ressort de l'armature du relais de manière que cette armature reste attirée quand on relie la fiche P au sol par l'intermédiaire d'une résistance supérieure à la résistance d'isolement minimum que l'on veut conserver sur le réseau et le circuit d'excitation et qu'elle tombe au contraire quand la résistance intercalée entre P et le sol a précisément cette valeur minimum. L'appareil étant ainsi réglé, on remet la fiche P en contact avec le feeder à essayer : tant que la résistance d'isolement de celui-ci est supérieure à la valeur minimum, le courant dérivé du circuit d'excitation par le relais, la résistance de 10 000 ohms à la terre est suffisante pour maintenir l'armature ; si, au contraire, la résistance d'isolement tombe au-dessous de cette valeur, une partie du courant passe alors dans le circuit de la fiche P et le courant dérivé dans le relais ne peut maintenir l'armature ; celle-ci tombe et ferme le circuit d'une sonnerie. Il en est encore de même si un défaut d'isolement se produit dans les conducteurs négatifs du circuit d'excitation ; si c'est sur les conducteurs positifs que se produit le défaut, l'appareil ne l'indique pas immédiatement, mais il l'indiquera quand l'excitatrice correspondante sera arrêtée, car alors les conducteurs de celle-ci se trouvent mis en communication avec la barre négative par le fil d'équilibre commun à toutes les excitatrices. Quand le défaut d'isolement s'est produit dans le réseau, on sectionne celui-ci et l'indicateur permet de reconnaître la section endommagée.

L'auteur décrit en terminant un dispositif qui permet, au moyen d'un voltmètre, de mesurer la résistance du défaut et qui permet aussi à l'opérateur qui recherche le défaut sur le réseau et à celui qui reste à la station de se tenir constamment en communication au moyen de signaux Morse envoyés par le premier et qui actionnent le relais indicateur de terre.

Machine pour nettoyer et recouvrir d'isolant les vieux fils de bobines. *S R J*, XVIII, 528-529, déc. 1901. Elle sert à remettre à neuf les fils d'une bobine de champ qui a été brûlée ou de toute autre partie d'un équipement de tramway. Le fil, préalablement chauffé au four, pour calciner l'isolant, passe entre des grattoirs qui le nettoient, puis entre des brosses métalliques rotatives qui le polissent, puis enfin dans le canal axial d'une étoile portant des bobines de fil pour effectuer le guipage ; un isolant fluide peut être injecté dans le canal où passe le fil. Une machine de ce genre est employée dans les ateliers de réparations des tramways de Brooklyn.

L'isolant Hackethal, par Giron. *Elé*, XXIII, 39-40, 18 janv. 1902.— L'auteur annonce qu'une compagnie s'est récemment formée à Hanovre pour l'exploitation de cet isolant, constitué par un mélange d'huile de lin et de minium (voir *E. E.*, XXVIII, XLIV, 27 juil. 1901). Après avoir rappelé qu'une de ses propriétés essentielles est de devenir d'autant plus efficace qu'il est resté plus longtemps au contact de l'air, il fait observer que son emploi se recommande particulièrement dans les usines chimiques, les mines, les tunnels humides, les centres industriels ; les conducteurs sont alors isolés par une bande d'un tissu imprégné du mélange.—Parmi les autres applications, l'auteur signale l'isolement des conducteurs télégraphiques et téléphoniques en vue d'éviter les mélanges, de rendre inoffensifs les contacts de ces fils avec les conducteurs industriels et permettre ainsi d'utiliser les mêmes poteaux pour ces deux sortes de conducteurs.— En terminant, il signale quelques applications récemment réalisées : sur une section du réseau télégraphique située dans le voisinage de Hanovre, sur le réseau des chemins de fer à voie étroite de Berg (100 km), sur une ligne électrique reliant la fonderie d'Ilsed aux laminoirs de Peine (80 km), sur les tramways de Wiesbaden (25 km), enfin sur de nombreux réseaux urbains destinés au service des incendies.

Applications mécaniques.

Grue électrique de 120 tonnes des chantiers « Vulcan », à Brème (Allemagne). *G C*, XL, 184, 11 janv. 1902, d'après *Zeitsch. Verein. deut. Ingen.*, 2 nov. 1901. — Cette grue destinée à l'armement des navires a une hauteur de 27,50 m, du quai au chemin de roulement du chariot mobile ; sa portée maximum est de 25,70 m. L'ensemble de la construction peut recevoir un mouvement de rotation, par l'intermédiaire de 12 trucks se déplaçant sur un chemin de roulement de grand diamètre, sur le quai. Trois de ces trucks sont actionnés par un moteur électrique de 12 chevaux. La rotation complète de la grue s'effectue en 8 minutes. Le chariot mobile est pourvu de 2 moteurs de 20 chevaux tournant à 710 tours par minute. Suivant l'accouplement et la valeur de la charge, les vitesses d'élévation de celle-ci sont de 1 ou 2 m par minute. Les arbres des moteurs sont pourvus de deux freins électromagnétiques. Il existe enfin, sur le même chariot mobile, un troisième moteur actionnant un treuil auxiliaire pour charges de 7,5 tonnes, dont la vitesse d'élévation est de 10 m par minute. Enfin, un moteur de 12 chevaux détermine la progression du chariot mobile à la vitesse de 8 à 10 m par minute. Le poids de l'ensemble de la construction métallique de cette grue s'élève à 208 tonnes ; il faut compter en plus, un contrepoids de 100 tonnes, disposé sur le petit bras de la poutre horizontale supérieure.

Pompe électrique à piston, système Langensiepen. *G C*, XL, 182, 11 janv. 1902. — Description sommaire, d'après le *Dinglers Journal*, d'une pompe aspirante et foulante à double effet dont la commande se fait assez simplement par un moteur électrique placé sur le bâti même de la pompe. Les transmissions intermédiaires, formées de deux trains de roues dentées, sont placées de part et d'autre de ce bâti, occupant également très peu de place. La dernière roue dentée est calée sur l'arbre-manivelle de la pompe. Le rhéostat d'excitation de la dynamo peut-être placé sous le réservoir d'air à la portée immédiate du mécanicien. Cette pompe peut élever à 25 m de grandes quantités d'eau ; le débit maximum est de 180 m³ à l'heure. Le nombre de tours par minute de l'arbre-manivelle varie en sens inverse du débit, passant de 100 à 40 quand le débit passe de 3 m³ à 180 m³.

Signaux électriques branchés sur circuits à courants intenses, système S. Siedle und Sohne. *D E L*, p. 609, 21 déc. 1901. — Le dispositif décrit permet d'adapter les sonneries et tous autres signaux électriques sur les réseaux d'éclairage, grâce à une résistance qui ramène

l'intensité à 0,1-0,2 ampère. Les appareils sont construits pour des tensions de 65 à 200 volts.

Traction.

Résistance des trains à la traction, par J.-A.-F. Aspinall. *El*, XLVIII, 259, 6 déc. 1901. Extrait d'une communication à l'Institution of Civil Engineers, 26 nov. — L'auteur y décrit les essais faits sur le Lancashire and Yorkshire Railway pour determiner la résistance à la traction et pour rechercher l'influence du vent. Chaque essai consistait à relever deux diagrammes; l'un d'eux enregistrait : 1° l'effort de traction, 2° l'effort de poussée, 3° la vitesse en miles par heure, 4° la vitesse du vent, 5° la durée du freinage, 6° la durée de l'essai, 7° la distance parcourue, 8° les points où le diagramme était pris; le second diagramme indiquait : 1° l'effort de traction, 2° l'effort de poussée, 3° la vitesse en miles par heure, 4° le nombre de tours des roues du véhicule, 5° la durée du trajet. La machine était reliée au train par un dynamomètre; le train était formé de wagons à boggies de construction récente. Les essais furent faits à des vitesses comprises entre 3 et 50 miles à l'heure sur la section comprise entre Wigan et Southport, choisie en raison de la facilité des courbes et pentes qu'elle présente. L'ensemble des résultats peut être représenté par la formule

$$R = 2,5 \frac{V^{\frac{5}{3}}}{50,8 + 0,0278\ L},$$

où R est la résistance à la traction en livres par tonne, V la vitesse du train en miles par heure, L la longueur du train en pieds. L'auteur a essayé de décomposer R en ses différents facteurs.

Cette communication fort importante, était accompagnée d'un appendice donnant, sous forme de tableaux et de graphiques, les résultats obtenus par divers ingénieurs dans des essais du même genre.

Prolongement de la ligne d'Orléans dans Paris. Gare du quai d'Orsay, par A. Dumas. *G. C.*, XL, 201-218, 25 janv. 1902. — Article d'ensemble, illustré de nombreuses photographies et figures, dans lequel l'auteur insiste particulièrement sur la construction de la gare et du palais d'Orsay; au point de vue électrique rien qui n'ait été signalé antérieurement dans *L'Éclairage Électrique*.

Electrochimie.

Electrode en platine Heraeus. *Elé*, XXIII, 54-55, 25 janv. 1902. — Cette électrode est constituée par un tube de verre vertical, de 8 mm de diamètre extérieur, à travers lequel sont soudés, à des distances de 4 à 5 cm, des fils transversaux de platine; sur ces fils sont soudées, de part et d'autre du tube de verre, des bandes de platine de 20 mm de large et de seulement 0,0075 mm d'épaisseur; à l'intérieur du tube sont des fils de cuivre reliant chaque fil de platine transversal à un bouchon métallique fermant la partie supérieure du tube et portant une agrafe pour suspendre l'électrode au circuit d'électrolyse. Une électrode de ce genre de 1 dm^2 de surface pour chaque face n'exige que 2 gr de platine. La répartition du courant sur chaque portion de l'électrode est très uniforme, chaque fil transversal de platine étant relié par un fil de cuivre spécial à l'attache de l'électrode.

Le blanchiment à l'Exposition de 1900, par H. de la Coux. *GC*, XL, 158, 4 janv. 1902. — Aucun appareil de blanchiment par l'ozone ne figurait à l'Exposition, pas même dans la section allemande où l'on aurait pu s'attendre à voir figurer l'appareil de Siemens et Halske. Comme appareil de blanchiment électrolytique, M. de la Coux décrit l'appareil Kellner, exposé par Fr. Gebauer, de Charlottenbourg. Il se compose d'un récipient de grès placé au-dessus d'une cuve appelée collecteur. Une solution de sel marin à 10° B. arrive par le fond du récipient de grès où elle ert soumise à l'électrolyse entre des électrodes constituées par des fils de platine iridié disposés sur du verre; la solution électrolysée s'écoule par un trop-plein dans le collecteur où elle agit sur le tissu à blanchir; une pompe centrifuge doublée de plomb, l'élève ensuite dans le récipient de grès, et ainsi de suite. Avec cet électrolyseur, le kilogramme de chlore reviendrait à 0,74 fr, ce qui permettrait de réaliser une économie de 0,43 fr sur le prix du traitement de 100 kg de tissus de coton lourds par le chlorure de chaux, soit, pour une production journalière de 5 000 kg et 300 jours de travail, une économie de 6 450 fr. L'auteur parle également du blanchiment par le peroxyde de sodium.

Le four électrique en métallurgie, par Pitaval. *Bull. Soc. de l'Industrie minérale*, nov.-déc. 1901.— L'auteur divise les fours électrothermiques en trois groupes : 1° les fours à arc qui dérivent tous des types Siemens ou Moissan-Violle; 2° les fours à résistance produite pour le mélange à traiter qui dérivent des types Cowles et Heroult; 3° les fours à résistance superficielle ou à incandescence. Une catégorie spéciale comprend les fours à chauffage extérieur ou fours sans électrodes, basés sur le principe des transformateurs.

Après quelques considérations générales sur cette nouvelle industrie, qui préoccupe à juste titre le monde des ingénieurs, l'auteur fait remarquer que, dans l'état actuel de la science électrométallurgique, aucun procédé de réduction du minerai de fer au four électrique ne peut encore supporter la comparaison, au point de vue économique, avec celui du haut fourneau ordinaire, lorsque le minerai et le combustible sont à proximité l'un de l'autre. Mais, lorsque cette dernière condition n'est pas remplie et, surtout, lorsqu'il s'agit de la fabrication d'aciers spéciaux pour lesquels on peut n'attacher qu'une importance minime à la production à bon marché, la question de l'électrométallurgie du fer peut être envisagée sérieusement si, de plus, on a affaire à des dépôts de minerais riches et isolés, comme il s'en trouve en Espagne, en Italie, en Grèce, en Suède, etc. Un grand nombre de nos colonies possèdent également de remarquables gisements de fer et peu de combustibles minéraux. Le procédé électrométallurgique y semble donc tout indiqué pour celles, du moins, qui disposent de force hydraulique en quantité suffisante.

M. Pitaval rappelle rapidemont les principaux procédés employés, à l'heure actuelle, dans cette nouvelle métallurgie, et s'arrête principalement sur celui de M. Stassano. Le four électrique de cet inventeur permet de fabriquer des sortes de fer et d'acier de compositions déterminées à volonté et en particulier, des sortes avec faibles teneurs en carbone.

D'une façon générale les fours électriques ont comme avantages sur les hauts fourneaux ordinaires : une construction plus simple, moins coûteuse, une marche continue ou discontinue suivant les besoins commerciaux, un changement d'allure très rapide, et une température plus élevée qui augmente la fluidité de la coulée et permet l'obtention en grande quantité d'oxyde de carbone dont le pouvoir calorifique peut être utilisé à différents usages.

Dans les fours électriques, comme dans les fours métallurgiques, il faut du coke pour produire les matières carburées nécessaires à la réduction; l'économie de combustible provient donc seulement de la substitution de l'électricité au charbon comme agent calorifique de fusion. D'après l'auteur, la consommation de charbon, dans la station métallurgique électrique de l'avenir, n'atteindra certainement pas le quart de ce qu'elle est actuellement dans la station métallurgique ordinaire.

Les alliages d'aluminium et de magnésium, par O. Boudouard. *BSE*, CI, 773-780, 31 déc. 1901. — Dans ce mémoire, l'auteur développe, avec tableaux, graphiques et photographies, les résultats d'une étude qu'il a faite sur ces alliages et qui a été récemment l'objet d'une communication à l'Académie des sciences signalée dans ce journal (t. XXIX, p. 456).

Mesures.

Le système métrique aux Etats-Unis. *EW*, XXXIX, 2, 4 janv. 1902. — Editorial signalant le dépôt sur le bu-

reau de la Chambre des représentants de deux bills tendant à rendre obligatoire l'emploi du système métrique, d'abord dans tous les bureaux dépendant du gouvernement, puis dans toutes les relations commerciales. L'un des bills propose les dates du 1er janvier 1903 et du 1er janvier 1904 pour ces réformes; l'autre bill propose la date du 1er juillet 1902 pour l'adoption aussi bien par le public que le gouvernement. Notre confrère fait justement ressortir, à cette occasion, quelle dépense de temps et quelles sources d'erreurs de calculs ferait disparaître cette réforme.

Etalons Latimer Clark du Bureau central des Poids et Mesures russe, par M. Tranof. *Annuaire du Bureau*, 36-59, 1900. — Les expériences de l'auteur ont donné pour les étalons du type Rayleigh, fabriqués et employés au Bureau, la formule :
$E_t = 1{,}43289 - 0{,}0011975(t-15) - 0{,}00000583\,(t-15)^2$, en volts internationaux.

Action des courants alternatifs sur l'électrodynamomètre, par W. Ignatowski, *J. Soc, phys.-chim. russe*, XXXII, 85-96, 1900. Résumé *JP* [4], I, 49, janv. 1902.

La formule d'Oberbeck se rapportant uniquement aux courants alternatifs harmoniques, l'auteur a cherché à résoudre le cas des courants alternatifs quelconques. L'angle de déviation et de la bobine mobile de l'électrodynamomètre, dont la position d'équilibre est parallèle à la direction du méridien magnétique, a été trouvé égal à $\alpha = \frac{A}{TD}\int_0^T II'\,dt + \frac{BH}{TD}\int_0^T I'\,dt$. L'angle de déviation δ, pour la bobine placée normalement au méridien magnétique, est égal au quotient de $\frac{A}{TD}\int_0^T II'\,dt$, par $1 - \frac{BH}{TD}\int_0^T I'\,dt$. A est ici la constante de l'appareil, D le couple de torsion de la suspension bifilaire, H l'intensité de la composante horizontale du champ magnétique terrestre, et B le couple qu'il exerce sur la bobine mobile, traversée par un courant égal à l'unité, I l'intensité du courant de la bobine fixe, I' celle du courant de la bobine mobile et T leur période commune.

Sur les wattmètres, par H. Armagnat, *IE*, XI, 5-9, 1902. — Dans cet article, le premier d'une série d'études sur ces appareils, l'auteur examine les wattmètres électrodynamiques, c'est-à-dire fondés sur le principe des électrodynamomètres. Il insiste particulièrement sur les wattmètres à courants alternatifs et étudie successivement l'effet de l'induction mutuelle, l'effet de la self-induction et l'effet de la capacité sur la précision des indications fournies par ces instruments. En terminant, il indique quelques-unes des dispositions adoptées pour éliminer les erreurs résultant de ces effets.

Compteur « Mars » pour courant continu et pour courant alternatif, par J.-A. Montpellier. *Élé*, XXIII, 49-51, 25 janv. 1902. — Compteur-moteur, ne différant du type ordinaire Thomson que par des détails de construction : le disque de freinage est placé à la partie supérieure de l'axe; les aimants, en fer à cheval, sont disposés verticalement, l'un au-dessus, l'autre au-dessous du disque de telle sorte que leurs pôles de noms contraires soient en regard; le saphir sur lequel tourne le pivot est monté sur une douille que l'on retourne pour le transport de l'appareil afin d'éviter la détérioration du saphir et du pivot.

Emploi de l'électromètre a quadrants pour la mesure des champs magnétiques : susceptibilité de l'eau, par J. Königsberger. *DA*, VI, 506-519, nov. 1901. — Si le nombre des lignes de force qui traverse une bobine varie de N_0 à N, si V est la différence de potentiel entre les extrémités de la bobine :

$$\int V\,dt = (N - N_0)\,n$$

n étant le nombre des spires de la bobine. En désignant

par S la surface de l'une des spires, par H_0 le champ magnétique initial et H le champ magnétique final, on a :

$$H - H_0 = \frac{\int V dt}{nS}.$$

Le terme $\int V dt$ peut être mesuré par l'électromètre à quadrants comme $\int i dt$ est mesuré par le galvanomètre balistique. L'emploi de l'électromètre a sur celui du galvanomètre deux avantages : l'électromètre est à l'abri des perturbations magnétiques et on n'a à déterminer qu'une seule grandeur dans le système électromagnétique, à savoir la sensibilité de l'électromètre.

L'auteur a utilisé l'électromètre pour mesurer le champ dans la détermination de la susceptibilité de la dissolution de chlorure ferrique et de l'eau par la méthode de Quincke.

Il a trouvé pour la première $24,13 \cdot 10^{-6}$ et pour la seconde $0,804 \cdot 10^{-6}$ (à 22°), relativement à l'air; ses mesures précédentes lui avaient donné (à 10°), 24,7 et $0,803 \cdot 10^{-6}$ (à 21°). Rapportée au vide, la susceptibilité magnétique de l'eau serait donc :

$$K = 0,781 \cdot 10^{-6}$$

et la susceptibilité spécifique d'une dissolution de chlorure ferrique, de concentration p. 100, à 18° serait relativement au vide :

$$K' = 87,9\, p - 0,781\, (1 - p). \qquad \text{M. L.}$$

Perméamètre pour échantillons bruts, par Dr Drysdale, *El*, XLVIII, 269, 6 déc. 1901 ; *ZET*, XX, 35, 19 janv. 1902. — L'auteur rappelle que tous les essais magnétiques sur les fers et aciers exigent des pièces travaillées ; en particulier, la méthode du magnétomètre ne donne l'intensité du champ que si on prend l'échantillon sous forme d'un ellipsoïde. Le procédé balistique, au contraire, tel que l'a perfectionné Hopkinson, offre plus de souplesse et c'est celui adopté par l'auteur, combiné avec le petit artifice expérimental que nous allons décrire. On fore dans l'échantillon un trou, tronconique à l'entrée, de 9 mm de diamètre, et 15 cm de long; on choisit une place qui recevra plus tard un boulon ou une vis, de façon à ne pas mettre la pièce hors d'usage. Ou bien on lui soude une pièce auxiliaire, qu'on soumet à la même opération. Dans l'ouverture parfaitement alésée on enfonce une fiche en fer doux qui en épouse exactement la forme ; l'extrémité porte, enroulées sur un même noyau, les bobines d'aimantation et de mesure dont les fils extrêmes traversent la fiche et sont connectés aux appareils de mesure. Un soin tout spécial doit être apporté à la construction de cette fiche de façon que le joint présente la réluctance la plus faible possible.

B. K.

DIVERS

La nouvelle « Dermo » lampe pour applications thérapeutiques de la lumière électrique; *DEL*, 607, 21 déc. 1901. — Le traitement de certaines affections de la peau par la lumière électrique exige des arcs de 80 à 100 ampères riches en rayons violets et ultra-violets, conditions qui sont loin d'être remplies même par la lampe Finsen à peu près universellement adoptée. Il est aussi nécessaire d'intercepter les parties rouge et jaune du spectre par des milieux absorbants qui suppriment une proportion notable des radiations efficaces.

Dans sa nouvelle lampe, le Dr Finsen substitue aux charbons des électrodes en fer creuses, refroidies intérieurement par un courant d'eau. L'arc qui se forme entre les électrodes métalliques est extraordinairement riche en radiations ultra-violettes, à ce point qu'une lampe de 5 ampères produit le même effet au bout de trois à cinq minutes que la lampe Finsen ordinaire de 80 à 100 ampères appliquée pendant une heure. B. K.

Lampes à arc pour le traitement des maladies de peau, *El*, XLVIII, 294, 13 déc. 1901. — Note donnant la description, avec figures, de deux modèles de lampes employées à l'hôpital de Londres pour le traitement du lupus. Dans la construction de ces lampes on s'est attaché à rendre l'ensemble léger, la manœuvre facile et à permettre d'approcher l'arc le plus possible du malade sans craindre des brûlures. Dans les deux modèles les charbons sont fixés à une monture à deux branches en V horizontal, réglables à la main, du genre des montures utilisées dans certaines lampes de projection Molteni. L'arc est produit par un courant continu de 10 ampères ou un courant alternatif de 16 ampères. Dans l'un des modèles l'arc est enfermé dans une boite à double paroi portant un objectif à double lentille ; un courant d'eau froide circule entre les deux parois de la boite et entre les deux lentilles. Dans le second modèle le système optique est monté au sommet d'un écran à double paroi en forme de calotte sphérique ; un courant d'eau froide empêche encore l'écran et les lentilles de s'échauffer outre mesure.

Tome XXX — Samedi 8 Février 1902. — 9e Année — N° 6.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).
M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

GÉNÉRATION

Machine à vapeur R. Wolf, demi-fixe, compound et à surchauffeur. — La surchauffe de la vapeur, encore assez peu répandue dans les installations de machines fixes, vient d'être appliquée par la maison Wolf aux machines demi-fixes d'une puissance s'élevant jusqu'à 300 chevaux. M. L. Descroix donne dans la *Revue Industrielle* du 21 décembre une description du type de 200 chevaux à laquelle nous empruntons les renseignements suivants :

La chaudière, à foyer intérieur et à tubes de fumée, est prolongée en avant par un corps cylindrique dans lequel est logé le surchauffeur et la boite à fumée. Au-dessus de la chaudière on dispose le moteur à vapeur compound, dont les deux cylindres sont placés dans le dôme de vapeur, qui leur sert ainsi de chemise de vapeur, et dont la régulation est effectuée par un régulateur dans le volant.

Le surchauffeur est constitué par un tube formant une série de spirales planes disposées verticalement les unes à côté des autres. La vapeur, prise au dôme, est amenée au surchauffeur par un tube qui traverse la chambre de vapeur de la chaudière ; elle est ramenée du surchauffeur au cylindre haute tension par un tube parallèle au tube d'amenée ; de la sorte les pertes de chaleur par rayonnement sont réduites au minimum.

La conduite de la machine ne présente pas plus de difficultés que celle des machines semblables sans surchauffeur. La seule opération supplémentaire est le ramonage des tubes du surchauffeur, mais ce ramonage s'effectue très rapidement au moyen d'un jet de vapeur envoyé dans l'enveloppe du surchauffeur au moyen d'un appareil que le constructeur nomme « ex-souffleur » : la suie est détachée par le jet de vapeur, les parties légères sont aspirées par la cheminée, les parties lourdes se déposent au fond du surchauffeur d'où on les enlève tous les deux jours environ.

Des essais officiels ont été faits en 1901 par M. Lewicki, professeur à l'Ecole polytechnique de Dresde, sur une machine de 100 chevaux, dont voici les principales données :

Surface de chauffe en contact avec l'eau. . m².	31
— — du surchauffeur.	20
Surface de grille.	0,85
Diamètre du cylindre H. P.	0,240
Diamètre du cylindre B. P.	0,451
Course des pistons.	0,480

A la pression de 12 kg : cm² et à la vitesse de 170 tours par minute, la machine devait fournir 100 chevaux au frein.

L'essai fut fait avec un charbon de 7 910 calories de puissance calorifique. Il dura 7 h. 45 minutes et donna les résultats suivants :

Température de l'eau d'alimentation.	32°
Température de l'eau rejetée par le condenseur.	39°
Température de la vapeur saturée. . . .	190°57
— — surchauffée (moyenne).	329°60
Température des gaz à l'entrée du carneau. .	215°
Surchauffe.	139°
Vide au condenseur. . . . . p. c.	89
Tirage en millimètre d'eau :	
Dans la cheminée. . . . . mm.	12,5
Sous la grille.	1
Puissance effective au frein. . . . . chevaux.	108,57
Puissance indiquée totale.	118,47
Charbon brûlé à l'heure ; total. . . . . . kg.	67,123
Par m² de grille.	78,91

Par m² de chauffe.	2,165
Consommation de charbon par cheval-heure eff.	0,618
— de vapeur par — eff.	5,293

La puissance indiquée est la moyenne fournie par 116 diagrammes; elle se répartit entre les deux cylindres dans le rapport de 70,01 chevaux pour la HP et 48,46 pour la BP.

On voit donc qu'en marche normale la puissance effective dépasse de 8,547 chevaux, la puissance nominale de la machine; qu'en outre, la consommation de 0,618 kg de charbon par cheval-heure effectif fait de cette demi-fixe l'égale des bons moteurs fixes à surchauffe.

Il faut remarquer aussi la température relativement basse des gaz à l'entrée dans la boîte à fumée, qui montre la bonne utilisation de la puissance calorifique et prouve que la grande surface du surchauffeur, eu égard à celle de la chaudière, n'a rien d'exagéré.

Machine à vapeur d'anhydride sulfureux Behrend et Zimmermann. — Jusqu'ici les machines motrices où l'on utilise l'expansion d'une vapeur autre que celle de l'eau (vapeur d'anhydride carbonique ou sulfureux) n'ont pu, en dépit de l'activité des inventeurs, entrer dans le domaine industriel. Utilisée concurremment avec une machine à vapeur d'eau, le condenseur de celle-ci servant de chaudière à la machine à vapeur « froide », une telle machine paraît cependant susceptible de rendre quelque service en augmentant la chute de température utilisable et, partant le rendement de l'ensemble générateur. Cette idée avait été lancée dès 1850 par Du Trembley (*Manuel du conducteur de machines à vapeur combinées ou binaires*, Lyon, 1850) et depuis elle a été reprise par divers inventeurs. Récemment elle a reçu un commencement d'application de la part de MM. Behrend et Zimmermann qui ont construit une machine à anhydride sulfureux laquelle, combinée avec une machine à vapeur d'eau, a été l'objet de nombreux essais du professeur Josse, à l'Institut de Charlottenbourg. Dans son numéro de décembre, *Traction and Transmission*, de Londres, consacrait à ces essais un article où nous puisons les renseignements suivants :

La machine à vapeur à triple expansion, les cylindres ayant respectivement 270, 430 et 670 mm de diamètre et 505 mm de long, a une puissance de 150 chevaux à la vitesse angulaire de 150 t : m. La machine à anhydride sulfureux de 60 chevaux est à un seul cylindre de 256 mm de diamètre et 505 mm de long, et son piston agit sur le même arbre que ceux de la machine à vapeur. Ce cylindre est en fonte, sans enveloppe de vapeur, mais avec enveloppe partielle en feutre. La distribution se fait par soupapes Colemann, commandées par des arbres oscillants dont les boîtes à étoupe sont d'un entretien plus facile que ceux des tiges à mouvements alternatifs ; les tiges de ces soupapes sont entièrement enfermées, avec les amortisseurs, à l'abri de l'humidité de l'air, condition essentielle pour éviter la formation d'acide sulfurique. La boîte à étoupe de la tige du piston, extrêmement longue, est en deux parties, dont l'extérieure, non soumise à la pression du gaz sulfureux, est remplie d'une simple garniture en tresse de coton. Il ne faut introduire dans le cylindre aucune graisse ; dans ces conditions, les parois du cylindre se sont montrées intactes après plusieurs mois de marche.

Le condenseur d'anhydride sulfureux est superposé au condenseur de vapeur d'eau, qui joue également le rôle de vaporisateur d'anhydride sulfureux. Le premier est un cylindre de 3,05 m de long, 0,885 m de diamètre et 70 m² de surface de condensation ;

il peut supporter une pression de 8 kg : cm². Le vaporisateur est un cylindre d'égale longueur, 1,05 m de diamètre et 160 m² de surface de condensation ; il est capable de supporter une pression de 20 kg : cm².

La vapeur d'eau, en se condensant, vaporise l'anhydride sulfureux liquide qui circule dans les tubes du condenseur-vaporisateur ; le gaz formé va agir sur le piston de la machine à gaz sulfuré et passe au condenseur refroidi par une circulation d'eau froide ; l'anhydride sulfureux liquide est ensuite envoyé par une pompe dans les tubes du condenseur-vaporisateur.

Les essais ont montré que, avec une dépense de vapeur d'eau de 5 kg par cheval-heure indiqué à la machine à vapeur seule, la machine auxiliaire augmentait la puissance de l'ensemble de 34,2 p. 100, ce qui réduisait cette dépense de vapeur à 3,8 kg par cheval-heure. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec un vide de 70 p. 100, parce que la diminution de puissance du cylindre de détente de la machine à vapeur est compensée par l'augmentation de celle de la machine à anhydride sulfureux et par la diminution de la perte par les parois du cylindre de détente, perte notablement plus grande avec un vide de 80 p. 100.

Le gain maximum réalisé par l'emploi de la machine à anhydride sulfureux, 42,1 p. 100, a été obtenu avec de la vapeur d'eau saturée et en marche très économique de la machine à vapeur.

Avec de la vapeur surchauffée, on a pu, sans inconvénient, supprimer le cylindre de moyenne pression de la machine à vapeur, en envoyant la vapeur directement du petit cylindre au grand, de sorte qu'il semble inutile, avec les moteurs à vapeur froide, de recourir à la triple expansion : la double expansion serait aussi avantageuse et l'ensemble du système ne comporterait plus que deux cylindres à vapeur et un à anhydride sulfureux.

Quant à la dépense d'eau de refroidissement ou de circulation, avec de l'eau prise à 16° et portée à 17°, elle s'est élevée d'un tiers environ par rapport à la dépense avec la machine à vapeur seule, et elle est retombée à son chiffre normal quand on a laissé la température de cette eau s'élever à 20° et 25°.

Comme on le voit, les résultats fournis par ces essais sont des plus satisfaisants, et M. Eric Gérard, qui, en 1899, avait assisté à quelques-uns d'entre eux, ne craignait pas d'exprimer son opinion comme il suit dans une communication faite en janvier 1900 à l'Association des Ingénieurs électriciens de l'Institut Montéfiore (*Bulletin*, t. XI, p. 51, 20 avril 1900) :

« La machine à gaz sulfureux n'exige pas de lubréfiant dans le cylindre et la pratique a démontré que, comme dans les machines à glace à anhydride sulfureux, les fuites de ce dernier peuvent être rendues négligeables.

« Il peut paraître singulier que la chute entre la température de la vapeur de décharge et celle de l'eau de condensation suffise pour apporter une économie de 50 p. 100. Mais on sait que la consom-

mation de vapeur ne répond pas au travail indiqué sur les diagrammes d'indicateur. Une partie de la vapeur se condense sur les parois du cylindre, sans effet utile, et se vaporise à l'émission. C'est l'appoint fourni par la chaleur latente de cette vapeur, qui, en se condensant de nouveau dans le vaporisateur à anhydride sulfureux, élève si sensiblement le rendement.

« C'est pour cette même raison qu'on ne pouvait utiliser l'anhydride sulfureux seul et se passer de l'eau. Indépendamment des pressions excessives que donneraient les liquides volatils tels que l'anhydride sulfureux, les condensations contre les parois seraient trop grandes.

« L'invention de M. Josse permet d'utiliser également la chaleur perdue des gaz des chaudières, comme aussi celle des enveloppes des machines à gaz ».

Ajoutons qu'on a récemment installé à la station électrique de la Markgrafenstrasse, de Berlin, une machine à anhydride sulfureux de 175 chevaux. Mais il convient de remarquer que ces machines auxiliaires ne sont guère recommandables que pour les installations qui marchent sans interruption pendant une grande partie de la journée et principalement pour celles à condenseur central.

Parmi les autres applications des machines à anhydride sulfureux, M. Eric Gerard signalait l'utilisation de la chaleur perdue, de l'eau de réfrigération des moteurs à gaz ; on pourrait aussi utiliser la chaleur perdue des vapeurs de concentration des usines de produits chimiques ; on pourrait encore employer ces machines dans certaines mines où l'on dispose d'eau froide et de sources thermales et où le combustible est extrêmement cher.

Moteur à gaz Niel, nouveau modèle. — M. J. Deschamps, qui a fait quelques essais sur ce moteur, en donne dans la *Revue Industrielle* (33e année, p. 13, 11 janvier 1902) une description accompagnée de planches d'où nous tirons les renseignements qui suivent :

Le nouveau modèle, à quatre temps, se distingue des précédents d'une part par des améliorations de détail dans la construction mécanique, d'autre part par l'emploi de très fortes compressions. Dans la construction on s'est attaché à éviter les porte à faux : le cylindre est soutenu par son centre de gravité, le volant et la poulie motrice sont logés entre deux paliers munis de graisseurs à bagues ; en outre le mécanisme de réglage (réglage qui s'effectue en faisant varier d'une façon continue la proportion de gaz et d'air introduits) a été complètement modifié. La compression, qui atteint 10 à 11 kg : cm², s'effectue dans une chambre faisant suite au cylindre ; cette forte compression, indispensable pour avoir un bon rendement avec les gaz pauvres n'exclut pas l'emploi de gaz riches, tel que le gaz de ville : il suffit dans ce dernier cas de changer la soupape d'admission d'air de manière à admettre une proportion d'air assez grande pour empêcher toute chance d'explosion prématurée pendant la compression.

Différents essais faits à Evreux, en novembre dernier, par M. Deschamps, ont fourni des résultats que l'auteur résume ainsi :

Pour une marche à pleine charge, avec du gaz de ville, le moteur fournissant exactement 46 chevaux, la consommation horaire a été de 20,5 m³ pour une heure, soit, par cheval-heure effectif, 445 litres.

Le gaz a été mesuré à la température ambiante, environ 16°.

Marchant à la puissance réduite de 31,4 chevaux, la consommation horaire a été de 16,44 m^3, soit, par cheval-heure effectif, 524 litres.

En marche encore plus réduite et fournissant à l'heure 23,4 chevaux, la consommation a été réduite à 15,15 m^3, soit, par cheval-heure 640 litres.

Enfin la marche à vide consommait 9,125 m^3.

Suivant un procédé connu, on peut chercher une formule approchée de la consommation. Il a été reconnu que, si l'on porte en abscisses les puissances constatées et en ordonnées les consommations de gaz relevées, les points figuratifs, représentant la marche d'un moteur à gaz, étaient, en général, disposés sur une ligne droite, ou sur une courbe régulière.

Dans le cas actuel, on peut considérer la consommation comme une fonction linéaire de la puissance et répondant, avec une approximation du même ordre que celle des erreurs possibles d'expérience, à la formule générale :

$$\text{Consommation} = 9{,}125 + 0{,}25\ N,$$

N étant le nombre de chevaux et la consommation étant exprimée en m^3.

Cette formule indique un rendement très remarquable pour le nouveau moteur Niel. Ce rendement atteint 0,265 à pleine charge.

M. Deschamps fait suivre cette description de quelques observations sur le calcul du rendement des moteurs à gaz. Il fait remarquer que pour tous les moteurs la courbe des consommations en fonction de la puissance ne diffère guère d'une droite et peut, comme dans le cas précédent, être exprimée par $\lambda + \mu$, N, λ représentant la consommation dans la marche à vide et l'accroissement de la consommation pour une augmentation de la puissance de 1 cheval. Il en conclut que ce qu'on devrait prendre comme *rendement thermique* du moteur est le quotient de calories correspondant à la consommation μ par les calories correspondant à 1 cheval-heure. Si on calcule ce rendement pour le moteur Niel, on trouve 0,48, chiffre qui n'est pas éloigné du maximum qu'assigne la théorie. Par conséquent les perfectionnements dont est susceptible le moteur à gaz ne pourront guère améliorer μ ; les efforts des constructeurs doivent donc porter sur les perfectionnements capables de diminuer la consommation à vide λ.

LITTÉRATURE DES PÉRIODIQUES

Pour la signification des abréviations, voir numéro du 11 janvier, p. XXI.

Théorie.

Sur la rotation électromagnétique unipolaire, par G.-R. Olshausen. *Dr. Ann.*, VI, 681-725, déc. 1901. — Suivant les idées théoriques auxquelles ont fait appel, telle ou telle partie du courant concourt à la formation du moment total ou non : tout ce qu'on peut dire, c'est que le couple provient de l'ensemble du courant. Les expériences faites sur des courants fermés constants ne peuvent décider quelles sont les portions du courant réellement actives.

Sur l'induction unipolaire, par O. Grotrian. *Dr. Ann.*, VI, 794-818, déc. 1901. — A l'aide d'un électromètre à quadrants très sensible de Dolezalek, on constate une différence de potentiel entre les extrémités du circuit ouvert d'une machine unipolaire : cette différence de potentiel est égale à la force électromotrice qu'on observerait dans le circuit fermé; mais cette force électromotrice est plus faible que celle calculée d'après la masse magnétique de l'aimant.

Champ démagnétisant dans les barreaux cylindriques, par C. Benedicks. *Dr. Ann.*, VI, 726-741, déc. 1901. — Les valeurs trouvées pour le champ démagnétisant ne sont pas les mêmes suivant qu'on opère par la méthode magnétométrique ou par la méthode balistique. Les nombres N_m donnés par Mann par le premier cas, se vérifient quand le rapport h de la longueur au diamètre est 25, sauf à les augmenter de 0,002 et à ne pas dépasser un champ de 800 CGS; au-dessus, ils croissent rapidement.

Les courbes qui représentent N_b (méthode balistique) sont d'abord des droites, puis à partir de 1 000 CGS se rapprochent rapidement de l'axe et les résultats deviennent indépendants du champ magnétisant.

La différence entre N_m et N_b tient à ce que la première correction s'applique à la valeur maxima du champ magnétisant au milieu du cylindre tandis que la seconde s'applique à la valeur moyenne du champ sur toute la longueur du cylindre.

Génération et Transformation.

Utilisation des chutes du Niagara, par Degenhardt, *ETZ*, XXII, 1073, 26 déc. 1901. — Communication faite à la Société électrotechnique de Munich. — Des 12 millions de chevaux, puissance approximative totale des chutes du Niagara, 50 000 sont en ce moment utilisés ; 50 000 autres chevaux seront installés prochainement. Actuellement, installées dans des puits de 60 m de profondeur, 10 turbines conduisent des alternateurs Westinghouse diphasés, à 2 200 volts et 50 périodes, qui fournissent l'énergie à un grand nombre d'usines voisines : en particulier, 17 000 chevaux servent à des entreprises électrochimiques. — Le courant, transformé en triphasé à 10 000 volts, alimente par câble souterrain une usine à carbure, qui fournit à peu près tout le carbure consommé aux États-Unis, et absorbe 15 000 chevaux. — Enfin le reste du courant est envoyé, sous forme de triphasé à 22 000 volts, par des conducteurs partie en cuivre, partie en aluminium à Buffalo, ville distante de 45 km, et à Tonawanda, en tout 18 000 chevaux : la ligne peut transmettre 30 000 chevaux avec une perte de 10 p. 100. — Le courant ainsi absorbé sert à l'éclairage,

aux tramways, à la cuisine, au chauffage, après transformation par l'intermédiaire de commutatrices Westinghouse.

L'agrandissement est prévu dès maintenant, pour la station centrale, jusqu'à une puissance totale de 200 000 chevaux : c'est le transport de force le plus important du monde entier. A. M.

Sur l'emploi des chargeurs mécaniques de foyers dans les petites usines, par A.-L. Harrison, *AE*, XIV, 18-19, janv. 1902. — Les avantages des chargeurs mécaniques dans les grandes installations ne sont plus à démontrer ; l'auteur prouve par plusieurs exemples que ces avantages subsistent dans les petites installations. — Dans une installation de ce genre, où les chauffeurs avaient peine à maintenir la pression normale au moment de la pleine charge, on munit l'une des chaudières d'un chargeur mécanique : on n'éprouva plus de difficulté à maintenir la pression et la consommation fut réduite de 25 p. 100. — Dans une autre, l'installation des chargeurs permit d'employer du charbon coûtant 1,05 fr par tonne moins cher. La consommation annuelle resta la même, mais comme cette consommation est de 10 000 tonnes, l'économie fut néanmoins de 10 500 fr. — Dans une troisième on fit des essais comparatifs avec une chaudière de 165 chevaux chargée à la main et deux de 150 chevaux chargées mécaniquement ; ces dernières donnèrent lieu à une économie de 25 à 30 p. 100. — L'auteur cite encore d'autres exemples et conclut en préconisant l'emploi des chargeurs mécaniques dans les petites installations.

Chaudières à tubes d'eau. *AE*, XIX, 39-44, janv. 1902. — Article illustré de 20 figures montrant les coupes et détails de construction de divers types de chaudières employées aux Etats-Unis : chaudières horizontales Babcock et Wilcox, Tudor, Abendroth et Root, Stirling, Worthington; chaudières verticales Cahall, Lynn, Wicks, Porcupine, Berry.

Sur la conduite des pompes d'alimentation des chaudière dans les petites installations, par J.-R. Cravalk, *AE*, XIX, 38-39, janvier 1902. — Deux modes de conduite peuvent être utilisés : faire constamment fonctionner la pompe à une vitesse réduite ou bien la faire marcher par intermittence à pleine vitesse. L'un et l'autre mode de conduite ont leurs avantages et leurs inconvénients ; l'auteur les signale sans tirer de conclusions : en particulier l'alimentation continue a l'avantage de ne pas fatiguer la chaudière par de brusques variations de température et de faciliter la conduite du foyer ; le second donne lieu à une économie de vapeur, la dépense de la pompe à faible charge n'étant guère inférieure à sa dépense en pleine charge.

— L'auteur examine ensuite la question de la mise en marche des pompes d'alimentation par moteurs électriques. Suivant certains ingénieurs cette manière d'opérer serait économique, les petites pompes à vapeur consommant énormément de vapeur; suivant d'autres la solution n'est guère économique, car elle exige une augmentation de la puissance des machines à vapeur et génératrices électriques, d'où un prix d'établissement plus élevé et un amortissement plus grand ; de plus les moteurs travaillent rarement à pleine charge et ont par suite un rendement assez médiocre.

Condenseur Allen à pompes électriques. *E*, LXXIII, 145, 31 janvier 1902. — Condenseur à surface constitué par une enveloppe en fonte dans laquelle se trouvent deux séries de tubes horizontaux où circule, des tubes inférieurs aux tubes supérieurs, un courant d'eau froide. Cette eau est puisée par une pompe centrifuge accouplée à un moteur électrique à 4 pôles. La pompe à air est une pompe triplex dont la manivelle est actionnée par un moteur électrique à 6 pôles du type semi fermé. Les deux moteurs sont alimentés sous 500 volts. Le condenseur est capable de condenser 7000 kg de vapeur à l'heure ; la puissance électrique dépensée varie, d'après les essais,

de 4,3 à 7,4 chevaux suivant le degré de vide obtenu. Une vue du condenseur illustre cette description.

Calcul et construction des volants de machines à faible vitesse pour éclairage et traction électriques, par A. Marshall Dawnie. *E*. LXXIII, p. 98-101 et 134, 17 et 24 janv. 1902. — Communication faite à l'Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. L'auteur y expose d'abord les principes du calcul des dimensions d'un volant en vue de régulariser le mouvement de rotation de l'arbre. Il passe ensuite à la construction, et il examine les nouveaux systèmes d'agrafes employés pour réunir les pièces des volants fondus en plusieurs morceaux.

Machine à courant continu de 1100 kilowatts de la English Electric Manufacturing Company. *E*. LXXIII, 121-123, 24 janv. 1902. — Cette puissante machine, destinée à la Corporation de Bolton, peut donner jusqu'à 3200 ampères sous 500 volts. Elle est à 12 pôles, le poids de l'armature atteint 21 tonnes, celui des pièces polaires et de la carcasse est de 35 tonnes. Son rendement, mesuré par la méthode de Hopkinson atteint 90 p. 100 sous une charge de 400 ampères ; il monte à 95 p. 100 pour 1000 ampères et se maintient à une valeur légèrement plus élevée jusqu'à la pleine charge.

Mesure de la résistance de l'induit d'une dynamo, par Wettler. *ETZ*, XXIII, 8, 2 janv. 1902. — L'auteur indique que pour mesurer la résistance de l'induit d'une dynamo à courant continu, le procédé le plus précis consiste à employer le pont double de Thomson, ce qu'on peut faire de deux manières : ou bien en amenant le courant à l'induit par les balais et prenant les fils de dérivation du pont double, sur les lames où aboutissent les balais, procédé peu précis à cause de l'inégale répartition du courant dans les circuits de l'armature, que peut occasionner l'irrégularité de la résistance au contact du balai et des lames, ou en amenant le courant seule-

ment à deux lames, desquelles on fait partir également la dérivation, ce qui est plus rigoureux. Dans ce cas, il faut choisir convenablement les lames d'après la nature de l'enroulement (parallèle, série ou série-parallèle) pour que l'induit se divise en deux branches égales, choix que l'on pourra faire facilement d'après les schémas donnés par l'auteur ; ce dernier indique aussi les formules permettant de déduire, de la mesure faite ainsi sur deux dérivations de courant, la vraie valeur de la résistance de l'induit : si r désigne la résistance mesurée, $2a$ le nombre de circuits dérivés, r_a la résistance vraie de l'induit, on a

$$r_a = \frac{r}{a^2}.$$

A. M.

Télégraphie et téléphonie.

Système téléphonique Bell à batterie centrale, par W. S. Henry, AE, XIV, 36-38, janvier 1902. — L'auteur donne une description détaillée, accompagnée de deux diagrammes très clairs, du système à batterie centrale fort répandu aux États-Unis. L'un des diagrammes représente les connexions d'une ligne d'abonnés au tableau, l'autre les connexions de ce tableau pour la communication entre deux abonnés.

La télégraphie syntonique sans fil, par Emile Guarini, *Elé*, t. XXIII, 33-39 et 56-60, 18 et 25 janvier 1902. — Dans cet article l'auteur décrit les dispositifs de Marconi, Slaby, Braun, et fait connaître quelques-uns des résultats obtenus avec ces dispositifs. Ces descriptions ont déjà été publiés dans *L'Eclairage électrique*.

Construction et exploitation des réseaux et bureaux téléphoniques, par Frank, J. Dommerque, AE, XIV, 20-21, janvier 1902. Sous le titre « Téléphone Engineering » l'auteur se propose de publier une série d'articles sur la téléphonie pratique. Dans ce premier article, il se borne à des généralités sur la construction des bureaux. Il termine en citant les nombres d'abonnés que peuvent desservir directement les grands bureaux actuels (Paris, 9100; Berlin, 12 000; Budapest, 20000) et ajoute que, grâce à quelques perfectionnements déjà entrés dans la pratique, on peut facilement aujourd'hui construire des tableaux pour 90 000 baonnés.

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Central Electrical Stations, their design, organisation and management (Stations centrales d'électricité, construction, organisation, exploitation), par **Charles Henry Wordingham**, ingénieur municipal des exploitations de tramways et d'éclairage électrique de Manchester. Un vol in-8° de XVI-496 pages, avec 134 figures dans le texte. — Londres 1901. — *Ch. Griffim and C°*, Exeter Street, Strand, éditeurs. Prix :

Nous devons nos excuses à l'auteur et à l'éditeur pour avoir tant tardé à parler de cet ouvrage et à dire tout le bien que nous en pensons.

Le plan de l'ouvrage est très bien conçu : l'auteur a volontairement négligé toutes les généralités qu'on peut trouver dans tous les ouvrages électriques ; par contre, toute la partie pratique est très développée. L'auteur, s'inspirant de sa propre expérience, expose successivement les conditions particulières spéciales aux usines d'électricité, auxquelles doivent satisfaire, par exemple, les terrains, le type de bâtiments, les tuyauteries de vapeur, les machines à vapeur, etc ; il entre dans les détails de la « routine » de la pose des câbles, de leurs essais, etc., de l'organisation des ateliers, bureaux magasins ; il définit les attributions de chaque agent, l'organisation hiérarchique du personnel, donne des renseignements sur les salaires et appointements de chacun ; les formules d'imprimés pour les différents services sont données à l'appui des explications fournies sur l'organisation des services. Bien entendu, une partie de ces renseignements, spéciaux à la pratique anglaise, devront être appropriés aux conditions locales dans bien des cas.

En résumé, ouvrage pratique, écrit avec soin, qui sera consulté avec fruit par les directeurs et ingénieurs de stations centrales.

G. Pellissier.

Production et distribution de l'énergie pour la traction électrique, par **Henri Martin**, ingénieur des Arts et Manufactures. 1 vol in-8° de 749 pages avec 870 figures dans le texte. — Paris, 1902. — *Béranger*, 15, rue des Saints-Pères, éditeur. — Prix : 25 francs.

Nous avions espéré, en recevant cet ouvrage, que c'était le complément attendu du remarquable travail de MM. Dubois et Blondel sur la traction électrique ; malheureusement il n'en était rien. L'auteur s'est surtout attaché à la partie descriptive ; l'appareillage, notamment, y a reçu de grands développements : à ce point de vue, cette étude, qui contient un très grand nombre de figures, sera utilement consultée. Nous signalerons aussi la description des systèmes de distribution à caniveaux et à contacts superficiels, qui est très complète et contient des renseignements et documents pratiques qu'on chercherait en vain dans d'autres publications. Mais tout ce qui est relatif aux machines dynamos, au calcul des feeders, etc., c'est-à-dire la partie principale de la génération et de la distribution, est des plus sommaires ; l'auteur n'a pas voulu sans doute, que son travail pût faire double emploi avec celui que MM. Dubois et Blondel ont annoncé. Il ne nous reste qu'à souhaiter la prochaine publication de ce dernier.

G. Pellissier.

Tome XXX — Samedi 15 Février 1902. — 9e Année — N° 7

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Pages.

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg Poissonnière (9e arrondissement).

M. BLONDIN reçoit, 3, rue Racine, le jeudi, de 2 à 4 heures.

NOUVELLES ET ÉCHOS

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Classification des appareils de transformation de l'énergie électrique. — Dans un fascicule récemment publié de l'*Electricité à l'Exposition* : M. Hospitalier adopte la classification suivante de ces appareils :

I. Ceux dans lesquels la transformation est immédiate ; ce sont les TRANSFORMATEURS INSTANTANÉS OU IMMÉDIATS.

Cette classe comprend les groupes suivants :

1° Ceux qui ne modifient que les facteurs de la puissance électrique, sans en modifier sensiblement la forme ; ce sont les *transformateurs homomorphiques*, qui se divisent en :

a. Transformateurs de courant continu en courant continu, comprenant :

α Transformateurs indirects : Moteurs-générateurs ; survolteurs ; dévolteurs ; régulatrices ; compensatrices.

β Transformateurs directs.

b. Transformateurs de courants alternatifs simples en courants alternatifs simples.

c. Transformateurs de courants alternatifs polyphasés en courants alternatifs polyphasés.

2° Ceux qui modifient la forme du courant ; ils sont appelés *transformateurs hétéromorphiques* et sont divisés en :

a. Transformateurs de courant continu en courants alternatifs dissymétriques : bobines d'induction.

b. Transformateurs de courants alternatifs en courant continu, comprenant :

α Transformateurs indirects : Moteurs-générateurs.

β Transformateurs directs : Redresseurs ; permutatrices ; commutatrices ou convertisseurs.

3° Ceux dont le développement industriel est encore insuffisant pour exiger une classification spéciale ; ils sont nommés *transformateurs divers* et comprennent : Déphaseurs ; polyphaseurs ; transformateurs de fréquence ; transformateurs de haute fréquence.

II. La seconde classe est constituée par les appareils dans lesquels la transformation est différée ; ce sont les ACCUMULATEURS. Ils sont divisés en :

1° Accumulateurs au plomb à formation autogène Planté.

2° Accumulateurs au plomb à oxydes rapportés Faure.

3° Accumulateurs au plomb à plaques positives Planté et à négatives Faure.

4° Accumulateurs au plomb dont les plaques Faure peuvent subir ultérieurement la formation Planté.

5° Accumulateurs divers dont les plaques ne contiennent pas uniquement du plomb.

Chacun de ces groupes se divise en deux catégories :

a. Accumulateurs stationnaires ou fixes.

b. Accumulateurs amovibles ou transportables.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Installation électrique pour épuisement de la mine Zollverein (Allemagne). — Le *Génie Civil* du 4 janvier donne sur cette installation les renseignements suivants :

L'emploi des moteurs électriques triphasés à faible vitesse est très répandu en Allemagne, pour la conduite des pompes de mines.

électrique à fer induit semi-fixe (système C. Limb et J.-M. Plasson).

Lindstrom. 5764, B P, 1900. — Dispositif pour maintenir en position les bobines de champ des moteurs et dynamos.

Lundskog (J.-W.). 667134, U S A P, 12 novembre 1900. Forme pour l'enroulement des bobines d'armature.

Maiche. 309646, B F, 3 avril 1901. — Système de machine dynamo-électrique.

Mix (E.-W.) et Faure (E.-F.-G.-H.). 118253, D R P, 5 avril 1900. — Fixage des fils pour induits de dynamo.

Motsinger (H.-N.) et H. 120183, D R P, 6 février 1900. — Procédé et dispositif pour obtenir la marche uniforme des dynamos.

Picou. 306345, B F, 17 décembre 1900. — Perfectionnements aux machines dynamo-électriques.

Reiniger, Gelbert et Schall. 306638, B F, 27 décembre 1900. — Machine d'induction perfectionnée.

Schneider et Cie. 308981, B F, 15 mars 1901. — Perfectionnnements aux induits dentés des machines dynamo-électriques à courants continus ou alternatifs.

Schneider et Cie. 311222, B F, 28 mai 1901. — Perfectionnements dans la construction des machines dynamo-électriques.

Schneider et Cie. 311425, B F, 3 juin 1901. — Perfectionnements aux machines dynamo-électriques.

Schneider et Cie. 310440, B F, 1er mai 1901. — Perfectionnements aux machines dynamo-électriques à courants continus ou alternatifs.

Union Elektricitæts-Gesellschaft. 124458, D R P, 16 janvier 1901. — Dispositif pour abaisser automatiquement la tension d'une dynamo en cas de diminution rapide de la charge.

Varley (R.). 121596, D R P, 18 avril 1900. — Procédé de fabrication de bobines d'électro.

Watson (J.-T.). 666831, U S A P, 16 août 1900. — Dispositif indicateur de dérangement de l'armature d'un moteur ou d'un générateur.

Wetzer (F.-C.-J.). 117604, D R P, 30 mai 1900. — Régulateur à force centrifuge pour dynamo.

Zeberin (G.). 118339, D R P, 23 mars 1900. — Support de pièce de frottement pour machines électriques.

Zeberin (G.). 123975, D R P, 9 mai 1900. — Pièces polaires pour machines électriques.

Dynamos à courant continu. — A.-E.-G. 124 649, D R P, 8 novembre 1900. — Porte-balais en charbon avec ressort en spirale réglable.

Arnold. 310 566, B F, 4 mai 1901. — Connexions équipotentielles pour armatures de machines à courant continu avec enroulement ondulé.

Bowen (E.-P.). 123 712, D R P, 29 juin 1900. — Balais en charbon pour dynamos.

Bréguet (Maison). 307 033, B F, 10 janvier 1901. — Perfectionnement relatif à l'emploi d'isochronisateurs différentiels pour le couplage des dynamos compound en quantité.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 309 808, B F, 10 avril 1901. — Collecteurs de machines électriques.

Dresden-Glauchauer Elektrizitæts-Gesellschaft, Emil Klemm, Schubert et Hagedorn. 123 951, D R P, 15 juillet 1900. — Machine à courant continu avec deux systèmes magnétiques.

Gand. 307 703, B F, 1er février 1901. — Nouveau porte-balais, système Gand.

Geitz (Ch.). 122 642, D R P, 5 janvier 1900. — Porte-balais pour machines électriques. Addition au 122 029.

Helios Elektrizitæts A.-G. 122 411, D R P, 10 mai 1900. — Enroulement inducteur pour machine à courant continu et transformateur pour obtenir en même temps l'inversion sans étincelle et la régulation de la tension.

Kæferlé (F.). 120 348, D R P, 28 décembre 1898. — Collecteur pour machines électriques.

Karmin (V.). 123 483, D R P, 29 novembre 1900. — Liaison d'un ou de plusieurs enroulements à courant continu avec des enroulements à courant continu séparés et disposés en étoile sur la même machine, dans le but de partager la tension et de placer le point de partage au centre de l'étoile.

Lacasse. 306 305, B F, 17 décembre 1900. — Dynamo à courants continus sans collecteurs ni balais.

Lamme. 25 740, B P, 1899. — Collecteur de dynamo.

Lundell. 309 187, B F, 20 mars 1901. — Perfectionnements dans les balais et les porte-balais ou machines dynamo-électriques pour moteurs électriques.

Philipps. 309 088, B F, 18 mars 1901. — Perfectionnements aux machines à dresser les commutateurs.

Rouge et Faget. 307 735, B F, 1er février 1901 ; 123 407, D R P, 14 février 1901. — Système de montage des balais tournants pour appareils électriques.

Siemens et Halske. 117 491, 117 492 D R P, 14 juin 1899 et 22 octobre 1899. — Machine à courant continu avec aimants inverseurs.

Siemens et Halske. 118 337, D R P, 15 décembre 1899. — Porte-balais en charbon pour dynamo.

Van Haanen. 305 640, B F, 22 novembre 1900. — Machine à courant continu.

Van Haanen. 305 641, B F, 22 novembre 1900. — Appareil pour la production d'un courant continu à pulsation.

Zander et Ingestrom. 309 789, B F, 9 avril 1901. — Machine électrique à courant continu.

Alternateurs — Blathy (O.-T.). 124 737, D R P, 21 décembre 1900. — Dispositif pour éviter les oscillations dans les alternateurs en parallèle.

Blathy. 309 977, B F, 16 avril 1901. — Dispositif pour régler l'excitation des machines à courant alternatif.

Gasnier. 306 623, B F, 27 décembre 1900. — Machine à courants polyphasés système Paul Gasnier.

Karmin (V.). 122 369, D R P, 29 novembre 1900. — Enroulement d'induit avec connexion pour prise par deux de tension triphasée.

Lamme. 25 421. B P, 1899. — Alternateurs.

Latour. 306 229, B F, 13 décembre 1900. — Alternateur auto-excitateur ou générateur du courant déwatté.

Rees (W.). 115 707, D R P, 7 novembre 1899. — Dispositif de régulation pour alternateur.

Schneider et Cie. 310 042, B F, 17 avril 1901. — Procédé d'excitation des alternateurs.

Société alsacienne de constructions mécaniques, 305 997, B F, 4 décembre 1900. — Perfectionnements aux alternateurs.

Union Elektrizitæts Gesellschaft, 117 606, D R P, 5 juillet 1900. — Disposition permettant d'éviter les courants d'égalisation trop élevés dans les alternateurs marchant en parallèle.

York (H.-W.). 668 429, 668 430, 668 431, U S A P, 16 juin 1899 et 11 mai 1900. — Dispositif de synchronisation pour génératrices à courants alternatifs.

Transformateurs, Condensateurs, etc. — Aktiengesellschaft Elektrizitætswerke, anciennement O. L. Kummer et Cie. 121 206, D R P, 18 juin 1900. — Condensateur électrique.

Arsonval (d'). 306 061, B F, 7 décembre 1900. — Système de condensateur électrique à milieu liquide isolant.

Arsonval (d'). 306 567, B F, 24 décembre 1900. — Système de production des courants de haute fréquence par l'emploi direct du courant continu sur des transformateurs à circuit magnétique fermé.

Batten. 311 413, B F, 1er juin 1901. — Perfectionnements dans un appareil pour obtenir des courants électriques directs de sources électriques de courant alternatif.

Berry. 16 889, B P, 1899. — Transformateur.

Elektrizitæts A. G. Schuckert et Cie, 116 031, D R P, 15 avril 1900. — Dispositif de réglage pour transformateur tournant.

Elektrizitæts-Aktien-Gesellschaft, anciennement Schuckert et Cie. — 121 070, D R P, 1er novembre 1900. — Transformateur à haute fréquence.

Grammont. 310 056, B F, 17 avril 1901. — Dispositif pour la protection des postes de transformateurs électriques.

Grisson et Cie 306 952, B F, 8 janvier 1901. — Transformateur de courant.

Lombardi (L.). 120 478, D R P, 18 mars 1900. — Procédé de fabrication de couches isolantes pour condensateurs électriques.

Mare (de) 305 591, B F, 21 novembre 1900. — Transformateur.

Morss (S.-B.). 667 889, U S A P, 21 mars 1900. — Bobine d'induction.

Nodou (A.). 121 812, D R P, 24 août 1900. — Sélecteur électrolytique de direction de courant ou condensateur.

Nodon. 311 571, B F, 7 juin 1901. — Perfectionnements aux trieurs de phases électrolytiques pour courants alternatifs et à leur mode de montage.

Radiguet et Massiot. 309 220, B F, 21 mars 1901. — Transformateur d'induction.

Rochefort (O.). 118 662, D R P, 25 mars 1899. — Disposition de la matière isolante dans les transformateurs.

Rougé (R.) et Faget (G.). 118 937, D R P, 12 décembre 1899. — Disposition pour transformer des courants alternatifs de phase donnée en courants continus et inversement.

Sautter, Harlé et Cie. 307 021, B F, 10 janvier 1901. — Nouveau système de convertisseur rotatif pour la transformation de courants alternatifs en courants continus et vice-versa.

Schwedtmann (F.) et Laymann (W.-A.). 667 996, U S A P, 1er juin 1900. — Transformateur.

Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité. 121 451, D R P, 22 juillet 1900. — Dispositif pour la transformation de courant continu en alternatif et inversement.

Compagnie Française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 312 280, B F, 1er juillet 1901. — Dispositif de réduction des pertes à vide dans les transformateurs à courants alternatifs.

Compagnie Française Thomson-Houston. 307 134, B F, 15 janvier 1901. — Perfectionnements aux transformateurs électriques.

Union Elektricitæts-Gesellschaft. 119 114, D R P, 16 mars 1900. — Régulateur pour redresseur de courant alternatif avec collecteur fixe.

Union Elektricitæts-Gesellschaft. 117 200, D R P, 24 janvier 1900. — Procédé de régulation de la tension du courant continu dans les transformateurs tournants de courants alternatifs en continus.

WAIL. 310 087, B F, 18 avril 1901. — Perfectionnements dans les enroulements pour appareils d'induction électromagnétiques.

Divers. — BEHREND (R.). 116 821, D R P, 5 avril 1898. — Dispositif de mise en marche avec balais de frottement mobiles sur un filet de vis de l'axe de commande.

BEYER. 310 965, B F. — Nouvel élément électrique et balais de dynamos.

BOUCHEROT et Cie. 306 985, B F, 9 janvier 1901. — Machine électrique à courant et mouvement alternatifs.

BRUNING, KLOTH et KUNHARDT. 310 303, B F. 26 avril 1901. — Dipositif producteur de courants électriques.

ELEKTRICITÆTS-ACTIEN-GESELLSCHAFT, anciennement W. LAHMEYER et Cie. 123 952, D R P, 26 février 1901. — Disposition pour faire tourner transitoirement les parties fixes d'une machine électrique.

HOOR (DE), REINITZ et STARK. 306 121, B F, 10 décembre 1900. — Système de réglage pour un producteur de courant électrique actionné par un arbre de rotation variable.

JAHR. 308 104, B F, 13 février 1901. — Procédé permettant d'accroître la puissance des éléments électrogènes, terrestres et aquatiques.

JANNEY (C.-O.). 667 016, U S A P, 26 décembre 1899. — Synchroniseur automatique de marche de deux mécanismes à mouvements saccadés.

LAMME. 307 911, B F, 6 février 1901. — Perfectionnements aux aimants de champs tournants des machines électriques.

MASCHINENBAU-ANSTALT FÜR KABELFABRIKATION CONRAD FELSING. 119 153, D R P, 11 mars 1900. — Machine pour l'enroulement des bobines.

MASCHINENBAU-ANSTALT FÜR KABELFABRIKATION CONRAD FELSING. 124 074, D R P, 20 février 1901. — Conduite de fil avec contact glissant et cylindre pour machine à à bobinage.

MIDDLETON. 310 532, B F, 4 mai, 1901. — Support du socle antitrépidateur pour moteurs, dynamos et autres machines.

PERROT et JAEGER. 306 726, B F, 29 octobre 1900. — Disposition permettant de multiplier toute force motrice en utilisant les propriétés que possède le courant électrique de se transformer.

PALENCSAR (A.). 121 564, D R P, 5 mai 1900; 306 172, B F, 11 décembre 1900. — Procédé et dispositif pour recueillir l'électricité atmosphérique.

TRILLET. 308 983, B F, 15 mars 1901. — Accumulateur de force mécanique pour dynamos.

UNION ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT. 118 285, D R P, 9 mai 1900. — Disposition permettant de rendre le sens de rotation d'un champ magnétique tournant indépendant du nombre de périodes de la force électromotrice extérieure.

UNION ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT. 119 190, D R P, 24 juin 1900. — Disposition pour l'écartement du pendule dans les machines d'entraînemeet synchrones et dans les transformateurs tournants.

WASS'LIEFF. 312 198, B F, 27 juin 1901. — Méthode de production d'énergie électrique.

ZEHDEN (A.). 116 858, D R P. 14 mars 1899. — Dispositif d'inversion pour la production de sens constant à l'aide d'une machine à sens de rotation variable.

Piles et accumulateurs

Généralités. — SOCIÉTÉ ANONYME « LE CARBONE ». 306 823, B F, 4 janvier 1901. — Dispositif de fermeture de vases de piles.

KÖLNER AKKUMULATORENWERKE GOTTFRIED HAGEN. 123 480, D R P, 11 août 1900. — Fermeture pour éléments primaires et secondaires.

EDWARDS. 304 958, B F, 30 octobre 1900. — Perfectionnements aux pièces terminales et aux vis d'assemblage des batteries et connexions électriques.

Blackman (H.). 667 421, U S A P, 6 juin 1899. — Dispositif de connexion d'électrodes.

Bary (W.-B.). 115 680, D R P, 28 juin 1899. — Electrodes pour éléments primaires et secondaires.

Perat. 310 138, B F. 20 avril 1901. — Système d'électrodes pour piles primaires et secondaires.

Ricks (A.). — 116 470, D R P, 28 novembre 1899. — Fabrication de plaques d'électrodes avec support constitué de matière non conductrice. Addition au brevet 116 469.

Piles thermo-électriques. — Benier. 305 049, B F, 3 novembre 1900. — Pile thermo-électrique.

Benier. 309 878, B F, 12 avril 1901. Pile thermo-électrique perfectionnée.

Crawford et Turloy. 304 793, B F, 23 octobre 1900. — Système perfectionné de pile thermo-électrique.

Jonas (B.). 116 675, D R P, 8 décembre 1899; 24 968, B P, 1899. — Procédé de fabrication de pile thermo-électrique par voie galvanique.

Piles voltaïques. — Dign (de) et Bouton. 306 042, B F, 6 décembre 1900. — Perfectionnements aux piles électriques.

Lavison (H.-D.-F. de). 668 838, U S A P, 19 juillet 1899. — Pile voltaïque.

Domergue. 308 605, B F, 28 février 1901. — Système de pile électrique primaire à résistance constante.

Erny. 308 381, B F, 22 février 1901. — Perfectionnements aux éléments galvaniques.

Francken. 308 907, B F, 12 mars 1901. — Pile électrique constante à grand débit.

Heidel. 308 909, B F, 12 mars 1901. — Perfectionnements apportés aux piles électriques.

Hussey et Clarke. 308 689, B F, 4 mars 1901. — Perfectionnements dans les piles électriques.

Kaiser (C.). 115 753, D R P, 17 septembre 1899. — Élémen galvanique. Addition au brevet 114 700.

Krahn (R). 116 837, D R P, 3 mars 1890. — Elément galvanique à bascule avec dispositif de rotation.

North. 308 538 B, F, 8 février 1901. — Générateur électrique à piles constantes par bi-alimentation et évacuation automatique.

Société the Waterbury Battery C°. 306 378 et 306 379, B F, 18 janvier 1900. — Nouveau système de pile électrique.

Tardy. 306 773, B F, 29 décembre 1900. — Pile à liquide inversable.

Tiquet. 308 344, B F, 21 février 1901. — Perfectionnements aux éléments de piles.

Erny. 308 349, B F, 21 février 1901. — Electrode de zinc munie d'un amalgame de zinc, sous forme spongieuse, pour éléments électriques et procédé pour la formation de celle-ci.

Globe electric C°. 308 363, B F, 22 février 1901. — Perfectionnements dans les électrodes de piles.

Ludvigsen (V.). 124 785, P R P, 27 janvier 1900. — Electrode positive pour élément galvanique.

Reed (C.-J.). 668 215, U S A P. 14 septembre 1897. — Electrode de pile.

Henry et Lenud. 310 124, B F, 20 avril 1901. — Aggloméré pour pile électrique.

Pik. 307 942, B F, 7 février 1901. — Elément sec avec dispositif de fermeture de circuit pour appareils et dispositifs actionnés électriquement.

Rockel. 308 408, B F, 23 février 1901. — Procédé de fabrication d'éléments de piles sèches à faible résistance intérieure au moyen de Nitella Flexilis.

Britzke. 306 903, B F, 7 janvier 1901. — Procédé et appareil pour la production d'un courant électrique par oxydation et réduction simultanées au moyen de gaz des électrolytes appropriés.

Accumulateurs. — Accumulatoren und electricitæts werke A. Gesell. vormals W.-A. Bœse et Cie, 308 867,

B F, 6 mars 1901. — Procédé de fabrication d'électrodes pour accumulateurs.

Apple. 310 964, B F, 20 mai 1901. — Perfectionnements apportés aux batteries d'accumulateurs.

Auer von Welsbach. 366 585, B F, 22 décembre 1900. — Nouvel accumulateur électrique.

Bem et Puthod. 307 003, B F, 15 janvier 1901. — Nouvel accumulateur d'électricité.

Bomel (L.) et Bisson, Bergès et Cie. 124 518, D R P, 30 septembre 1900. — Electrode négative pour accumulateurs au zinc. Additionné au D R P, 96 082.

Bowker (W.-R.). — 668 622, U S A P, 16 février 1900. — Accumulateur.

Bruno (C.). 124 515, D R P, 7 octobre 1899, 24 451, B P, 1899. — Electrodes d'accumulateurs.

Celestre et Gondrand. 309 943, B F, 13 avril 1901. — Accumulateurs pour automobiles.

Colletas. 308 040, B F, 12 février 1901. — Pile secondaire ou accumulateur à l'ydrure de cuivre.

Collins (L.-W.), 669 064, U S A P, 7 juillet 1899. — Accumulateur.

Commelin et Viau, 305 194, B F, 12 décembre 1900. — Electrode pour accumulateurs électriques.

Compagnie française de l'accumulateur Aigle, 307 57, B F, 29 janvier 1901. — Perfectionnements aux plaques d'accumulateurs électriques.

Durdos. 310 562, B F, 4 mai 1901. — Nouveau dispositif d'accumulateur électrique.

Edison. 305 563, B F, 20 novembre 1900. — Système perfectionné d'accumulateur électrique.

Edison. 307. 864, B F, 5 février 1901. — Accumulateur électrique perfectionné.

Edison. 311 020, B F, 21 mai 1901. — Système perfectionné d'accumulateur.

Eliéson. 310 151, B F, 20 avril 1901. — Système pour rapprocher et régulariser les ondulations des plaques d'accumulateurs et autres.

Eliéson et de Bobinsky, 309 620. B F, 2 avril 1901. — Dispositif d'accumulateur électrique à âme centrale et à libre dilatation sans cadre métallique.

Eyanson (G.-T.) et Shinn, 669 007, U S A P, 11 juin 1900. — Procédé de fabrication des plaques de zinc amalgamé.

Fortu et Lemprim, 309 307, B F, 23 mars 1900. — Accumulateur dénommé aluminium-charbon.

Geoffroy et Delore, 306 897, B F, 7 janvier 1901. — Genre de plaques d'accumulateurs.

GEUGNON, 311 241, B F, 28 mai 1901. — Perfectionnements dans les accumulateurs.

SOCIÉTÉ GLOBE ELECTRIC COMPANY, 306 813, B F, 3 janvier 1901. — Perfectionnements relatifs aux piles électriques secondaires.

GUÉROULT et JARRY, 306 109, B F, 8 décembre 1900. — Accumulateur à électrodes feuilletées.

GUMIEL, 5 528, B P, 1900. — Accumulateur.

HARMEL, 311 256, B F, 28 mai 1901. — Accumulateur humide.

HEILMANN (J.), 123 512, D R P, 5 octobre 1900. — Procédé de fabrication d'électrodes d'accumulateurs.

HEWITT (T.), 668 517 U S A P, 12 juin 1900. — Plaque d'accumulateurs.

HIRSCHLAFF (H.), 121 527, D R P, 14 janvier 1899. — Procédé de fabrication d'électrodes d'accumulateurs.

JACKSON, 305 797, B F, 28 novembre 1900. — Plaque d'accumulateur électrique.

JEANTAUD, 310 545, B F, 4 mai 1902. — Perfectionnements aux accumulateurs électriques.

JEANTY (V.), 124 786, D R P, 16 mai 1901. — Electrodes d'accumulateurs constituées par de petites bandes.

KÖLNER AKKUMULATOREN WERKE GOTTFRIED HAGEN, 116 924, D R P, 27 juillet 1899. — Procédé de fabrication d'électrodes d'accumulateurs munies de nervures étroitement rapprochées facilitant le dégagement des gaz.

KRAUSS et PFAFF, 305 666, B F, 13 novembre 1900. — Nouvelle plaque d'accumulateur.

KRAUSS et PFAFF, 312 254, B F, 29 juin 1901. — Procédé de fabrication pour plaque d'accumulateur.

KRIÉGER, 312 268, B F, 29 juin 1901. — Perfectionnements dans les accumulateurs.

LUCKOW, 24 960, B P, 1899. — Plaques d'accumulateurs.

MALLET et PARENT, 310 491, BF, 1er mai 1901. — Accumulateur transportable.

Marino. 310 982, B F, 4 mai 1901. — Perfectionnements aux accumulateurs électriques.
Mauny. 308 319, B F, 20 février 1901. — Système de plaques d'accumulateurs électriques.
Muhle (H.-M.-N.). 668 295, U S A P, 22 octobre 1900. — Plaque d'accumulateur.
Myers (J.). 116 923, D R P, 19 février 1899. — Fabrication de plaques d'électrodes par pression d'une masse spongieuse de plomb.
Mijers. 304 692, F F, 19 octobre 1900. — Electrode perfectionnée pour les accumulateurs électriques.
Pescatore. 305 723, B F, 26 novembre 1900. — Perfectionnements apportés au procédé de préparation des plaques d'accumulateurs.
Pescatore. 309 173, B F, 20 mars 1901. — Perfectionnements dans les accumulateurs.
Pisca. 308 030, B F, 11 février 1901. — Accumulateur électrique.
Placet (P.-E.). 668 356, U A S P, 14 novembre 1899. — Accumulateur.
Renaud. 8 471, B P, 1900. — Accumulateur.
Ribbe (P.F.). 668 690, U A S P, 30 avril 1900. — Accumulateur.
Ribbe (P.). 119 215, D R P, 22 mars 1900. — Electrodes d'accumulateurs formées de lames demétalplissées.
Ricks (A.). 116 469, D R P, 20 octobre 1899. — Procédé de fabrication d'électrodes d'accumulateur avec support constitué de matière non conductrice.
Ritter von Werks (R.). 118 996, D R P, 16 avril 1899. — Procédé de fabrication de plaques d'électrodes pour accumulateurs électriques.
Roger. 306 752, B F, 26 décembre 1900. — Nouveau procédé pour la fabrication des accumulateurs.
Roitel. 309 421, B F, 27 mars 1901. — Nouveau système d'accumulateur.
Rose, Halifax et Antrobus. 308 889, B F, 12 mars 1901.

— Perfectionnements aux accumulateurs électriques.

Roussy (de), de Sales et Gueugnon. 307 715, B F, 9 janvier 1901. — Plaques d'accumulateurs nouvelles dites Eole.

Roussy (de), de Sales et Gueugnon. 308 788, B F, 7 mars 1901. — Perfectionnements dans les accumulateurs.

Rudy. 310 039 B F, 17 avril 1901. — Procédé et appareil pour la fabrication de plaques nervurées en métal mou.

Sæchsische, Akkumulatoren werke, A G, 124 787, D E P, 24 mai 1900. — Procédé de formation pour électrodes positives d'accumulateurs sans empâtage.

Sauvan. 305 806, 28 novembre 1900. — Accumulateurs mixtes à liquides ou vapeurs de liquides et à gaz.

Schulz. 309 287, B F, 23 mars 1901. — Procédé de fabrication de plaques d'accumulateurs à grandes surfaces.

Schulz. 309 325 B F, 25 mars 1901. — Procédé de fabrication de plaques négatives pour accumulateurs électriques.

Siebrand de Mundaca, Bier et Schneeberg. 306 270, B F, 17 décembre 1900. — Nouvel accumulateur à décharge rapide.

Société Anonyme Puissance et Lumière. 310 181, B F, 22 avril 1901. — Electrode à grande surface pour accumulateurs électriques.

Stoll. 308 706, B F, 5 mars 1901. — Accumulateurs électriques avec attache élastique des électrodes.

Texier d'Arnoult. 308 817, B F, 8 mars 1901. — Nouvel accumulateur électrique.

Tommasi. 307 190, B F, 17 janvier 1901. — Système de plaque d'accumulateur.

Topp (E.). 117 749, D R P, 3 février 1899. — Electrode d'accumulateur.

Tourvieille. 309 107, B F, 18 mars 1901. — Perfectionnements aux accumulateurs électriques.

Tribelhorn (A.). 115 953, D R P, 16 février 1900. — Batteries d'accumulateurs avec électrodes en forme de vase.

Wiegand (S.-L.). 124 516, D R P, 6 juin 1900. — Electrodes d'accumulateurs.

Woodward. 306 404, B F, 19 décembre 1900. — Perfectionnements apportés aux accumulateurs électriques ou piles secondaires et à leur procédé de fabrication.

Franke (E.). 120 505, D R P, 18 mars 1900. — Machine pour remplir les électrodes d'accumulateurs de matière active.

Riasse et Sengeisen. 307 514, B F, 26 janvier 1901. — Moule servant à la fabrication des plaques d'accumulateurs.

Stendebach (C.-Fr.-Ph.). 117 925, D R P, 10 septembre 1899. — Procédé de fabrication d'électrodes d'accumulateurs.

Nodon. 305 882, B F, 1er décembre 1900. — Matière active à base de silicate de plomb pour plaques électrodes d'accumulateurs électriques.

Arnoult (Baron H.-T. d'). 124 517, D R P, 9 août 1900. — Procédé de fabrication d'une enveloppe de celluloïd entourant complètement les plaques d'électrodes.

Accumulatoren Werke progresse G. m. b. H. 306 472, B F, 21 décembre 1900. — Enveloppe de plaques d'accumulateurs, à parois perforées et à fond plein.

Krauss et Pfaff. 305 667, B F, 23 novembre 1900. — Nouvelle cuve pour accumulateurs électriques.

Collins (L.-W.). 668 284, U S A P, 7 juillet 1899. — Séparateurs de plaques d'accumulateurs.

Marino (P.). 116 456, D R P, 21 décembre 1898. — Liquide d'excitation pour accumulateur au plomb.

Guitard et Roch. 309 139, B F, 19 mars 1901. — Application de l'acide phénique ou des composés phéniqués à la régularisation de l'attaque du zinc dans les piles hydro-électriques ou accumulateurs électriques de toutes natures.

Wells, Allan et Adamson. 466, B P, 1900. — Dispositif pour faciliter l'échappement des gaz des accumulateurs.

Cisneros (E.) et Micka (A.). 125 647, D R P, 29 novem-

bre 1900. — Procédé pour la charge d'une batterie d'accumulateurs sans machine auxiliaire.

Suren (N.-H.). 668761-779, U S A P, 29 juin 1899. — Appareil pour connecter les batteries d'accumulateurs avec les circuits de charge.

Waddell (M.). 668667, U S A P, 15 février 1900. — Dispositif pour la charge des accumulateurs.

Sæchsische Akkumulatoren W. A. G. 124257, D R P, 15 septembre 1899. — Dispositif pour éviter automatiquement la surcharge des accumulateurs.

Pope manufacturing C°. 11645, D R P, 21 avril 1899. — Dispositif pour la surveillance de la décharge des batteries.

Stevens (A.-L.). 668359, U S A P, 26 juillet 1900. — Contacts prises de courants pour batteries d'accumulateurs.

Tiddeman. 5710, B P, 1900. — Indicateur pour accumulateur.

Applications thermiques.

Fours. — Delaumay et Jean. 306888, B F, 7 janvier 1901. — Dispositif permettant l'utilisation de la zone chaude existant à proximité du foyer de l'arc électrique.

Chavarria Contardo. 124788, D R P, 26 août 1900. — Monture d'électrodes pour amenée de courant dans les fours électriques.

Rochette et Rochette. 300348, B F, 21 février 1901, — Nouveau four électrique.

Schneider et C[ie]. 309559, B F, 1[er] avril 1901. — Perfectionnements dans les fours électriques sans électrodes.

Stassano. 307700, BF, 31 janvier 1901. — Four électrique universel à plusieurs coupes d'électrodes.

Vorchers (W.). 121225, D R P, 3 août 1899. — Four électrique.

Vogel (O.). 120831, D R P, 8 février 1900. — Four de fusion électrique avec résistances de chauffage en forme de ruban ou de bâton disposées en grille.

Chauffage. — Cleveland. 305983, B F, 4 décembre 1900. — Dispositif perfectionné pour relier les conducteurs électriques.

Deutsche Thermophor Aktiengesellschaft. 123100, DRP, 22 novembre 1898. — Thermophore avec chauffage électrique. Addition au D R P, 104066.

Hastner et Karnop. 311311, BF, 30 mai 1901. — Chauffe-boisson.

Heraeus (W.-C.). 123513, D R P, 23 novembre 1900. — Disjoncteur automatique pour appareil de cuisine électrique.

Lalande. 308209, B F, 18 février 1901. — Appareil de chauffage par l'électricité.

Larat. 311626, B F, 10 juin 1901. — Appareil de chauffage électrique.

Leask et Bellis. 306033, BF, 6 décembre 1900. — Perfectionnements dans les appareils de chauffage électrique.

Loacher et Riedl. 301977, B F, 9 février 1901. — Perfectionnements aux appareils de chauffage électrique.

Schindler. 309000, B F, 15 mars 1901. — Appareil électrique pour le chauffage et la cuisson des aliments.

Schindler. 309001, B F, 15 mars 1901. — Dispositif pour interrompre automatiquement le courant des appareils électriques de cuisson des aliments.

Herrgott. 307502, B F, 26 janvier 1901. — Systèmes de tissus électriques chauffants.

Schultz (F.). 117395, D R P, 25 février 1900. — Surchauffeur de vapeur chauffé électriquement.

Allumage. — Bergmann (Th.). 123485, D R P, 16 janvier 1900. — Machine magnéto-électrique avec champ magnétique mobile pour l'excitation de l'étincelle d'allumage dans les moteurs à explosions.

Hellmann (H.-W.). 116692, D R P, 24 novembre 1899. — Mécanisme régulateur pour machine à explosion avec allumage électrique.

Mauguin (P.). 124014, D R P, 31 juillet 1900. — Allumeur électrique pour moteur à gaz.

Schœller (A.). 124013, D R P, 25 août 1900. — Dispositif d'allumage électrique pour machine à explosion.

Borchardt (H.). 119168, D R P, 29 juin 1900. — Allumage de gaz avec inflammation secondaire électrique.

Neubert (O.-P.). 123760, D R P, 16 janvier 1901. — Allumage électrique pour lampe à gaz.

Schmidt (E.). 117613, D R P. — Allumeur de gaz.

Skodawerke (A.-G.). 120434, D R P, 14 juin 1900. — Mise à feu électrique.

Skodawerke (A.-G.). 120435, D R P, 24 juin 1900. — Tubes explosifs avec allumage électrique et à percussion pour bouches à feu.


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0508



